পদার্থবিদ্যা পরিচয়

প্রথম খণ্ড

(তৃতীয় সংস্করণ)

[উচ্চতর ও বহুমুখী বিদ্যালয়সমূহের **নবম** ও **দশম** শ্রেণীর পাঠ্য]

শ্রীচারুচন্দ্র চৌধুরী, এম. এস-সি., বি. টি.,

পদার্থবিদ্যার অধ্যাপক, স্কটিশচার্চ কলেজ

প্রণীত

সেন্ট্রাল বুক এজেন্সী

১৪, বঙ্কিম চ্যাটার্জি স্ট্রীট · কলিকাতা-১২

তৃতীয় সংস্করণের ভূমিকা

পশ্চিমবঙ্গের উচ্চ মাধ্যমিক স্কুলসমূহের নবম শ্রেণী হইতে Formal Science হিসাবে (ঐচ্ছিক) পদার্থবিদ্যা পড়ানো আরম্ভ হইয়াছে। পশ্চিমবঙ্গ মধ্য-শিক্ষা পর্ষৎ ইহার জন্য সাবধানে উপযুক্ত সিলেবাস নির্দেশ করিয়াছেন এবং সকল দিক বিবেচনা করিয়া আপাতত বর্তমান I. Sc. কোর্সের সম্পূর্ণ অধীতব্য বিষয় সিলেবাসের অন্তর্ভুক্ত করেন নাই।

ঐ সিলেবাস দেখিলেই বোঝা যাইবে যে I. Sc. ক্লাসে যেভাবে আমরা পদার্থবিদ্যা পড়াইতে আরম্ভ করি, স্কুলে ঐভাবে পদার্থবিদ্যা আরম্ভ করা বোর্ডের অভিপ্রেত নহে। প্রকৃতপক্ষে সকল শিক্ষাবিদ এবং শিক্ষাকর্তৃপক্ষই এই সম্পর্কে একই মত পোষণ করিবেন। 14 হইতে 16 বৎসর বয়সের মধ্যে মানুষের বুদ্ধি পরিপূর্ণতা লাভ করে, সুতরাং ঐ সময়ে 2 বৎসর আগে ও পরে ছাত্রদের গ্রহণ ক্ষমতার পার্থক্য হয় অনেক বেশী।

স্কুল, কলেজ এবং ট্রেনিং কলেজে অর্জিত আমার নিজের পঁচিশ বৎসরের ব্যক্তিগত অভিজ্ঞতা স্মরণ রাখিয়া এই পুস্তক রচনায় আমি মোটের উপর এক নূতন পরিকল্পনায় পুস্তকের সর্বত্র সিলেবাস নির্দেশিত ক্রম রক্ষা করিয়া সুষ্ঠুভাবে সিলেবাস অনুসরণ করিয়াছি।

বলবিদ্যা পদার্থবিদ্যার গোড়ার কথা হইলেও acceleration, force প্রভৃতির সম্যক ধারণা করা 13-14 বৎসর বয়স্ক ছাত্রদের পক্ষে কঠিন এবং সময়সাপেক্ষ। সেই কারণে মধ্যশিক্ষা পর্ষৎ বলবিদ্যা সম্পর্কিত গোড়ার কথা Class XI-এর পাঠ্য নির্দেশ করিয়া উচিত কার্যই করিয়াছেন। কিন্তু চাপ প্রভৃতি পড়াইবার জন্য বলের মোটামুটি ধারণা এবং একক জানা আবশ্যক। এই পুস্তকে পরীক্ষামূলকভাবে সরাসরি বলের একক স্থির করিয়া ঐ সমস্যার সমাধান করা হইয়াছে।

*   *   *   *   *

পুস্তকে অনেক অঙ্ক কষিয়া দেওয়া হইয়াছে এবং নব পরিকল্পিত কোন কোন চিত্রও সন্নিবেশিত হইয়াছে।

পুস্তকের উন্নতিকল্পে যে কোন উপযুক্ত পরামর্শ ধন্যবাদের সহিত গৃহীত হইবে। ইতি—

কলিকাতা
মার্চ, 1959

গ্রন্থকার

(a)

PHYSICS—SYLLABUS

CLASSES IX—X

Contents	*Remarks*	*Practical*	*Demonstration*
1	2	3	4
1. Measurement of length. Volume, mass, weight and time. Measurement of angle. Simple Pendulum (Experimental study only).	Both F.P.S. & C. G. S. systems are expected. Explanation of Decimal measure ; its usefulness.	The use of measuring cylinder. Measurement of length & time period of Pendulum. Use of Vernier (in class XI).	Use of beam balance and spring balance. Use of Vernier (in class XI).
2. Density and specific gravity. Measurement of density and Specific gravity of solids, liquids.	Relative density to be explained. Density of gas.	Density of bodies of regular and irregular shape.	
3. Meaning of Pressure. Pressure and thrust. Pressure in liquids. Characteristics of fluid pressure. Archimedes Principle and buoyancy. Pascal's Law. Floating bodies.	Balancing columns in U-tube. Effect of size of the tube. Pressure at house tap, etc. Importance of vertical height. Hydraulic Press. Hydraulic garage lift. Floatation of ships & balloons. Hydrometers.		Pressure depends on 'head' of liquid Pressure independent of area. Pressure in liquids acts equally in all directions. Transmission of fluid pressure. Submerged bodies. Floating bodies, Sinking bodies.

(*b*)

Contents 1	*Remarks* 2	*Practical* 3	*Demonstration* 4
4. Atmospheric pressure. The Barometer. Pressure in gases.	Effect of moisture or atmospheric pressure. Weather maps. Pumps. Siphon.	Reading the Barometer (Class XI).	Burette full of water inverted in a beaker of water ; air admitted later. Barometer tubes of different lengths inverted over a mercury trough Balloon containing a little air under bells or connected to an exhaust Pump. Magdeburg hemispheres.
5. Temperature and its measurements. Thermometry. Expansion of solids, liquids and gases.	Effects of heat (such as, bodies get hotter ; melting ; evaporation ; chemical action ; burning : destruction of life ; light) to be mentioned. Fahrenheit and Centigrade scales and their conversion. Maximum and minimum thermometers ; the clinical thermometer. Anomalous expansion of water.	Determination of fixed points of a thermometer.	Ball and ring experiment. Bi-metallic strips. Demonstrations of expansion of liquids and gases. Great force exerted during expansion and contraction.
6. Measurement of quantity of heat, heat units.	Heat lost = Heat gained calculation of specific heat	Determination of Specific heat (solid).	

(c) Contents 1	Remarks 2	Practical 3	Demonstration 4
Specific heat, Thermal capacity and water equivalent.	from data of method of mixtures.	(solid) by method of mixture.	
7. Melting, evaporation boiling. Moisture in air. Dew point, Relative humidity.	Effect of pressure on melting point and boiling point, cooling effect of evaporation. Reference to be made to dew, mist, cloud and rain. Wet and dry-bulb hygrometer and simple form of Regnault's Hygrometer.	Determination of melting points of crystalline solid (graphical method).	Weighted wire cuts through ice. Freezing point of salt water. Boiling under reduced pressure. Determination of relative humidity.
8. Conduction, convection and radiation.	Ventilation, Land and sea breezes. Effect of cotton and woolen clothings to be explained. Davy's lamp and cooling system of an automobile engine to be discussed. Thermoflask.		Heat conductivity, in metals—Ingen Hausz's experiment. Davy's safety lamp. Copper spiral extinguishes a candle-flame.
9. Light—straight line Propagation. Pin hole camera. Shadow from Point & extended sources, Eclipses of Sun and Moon.	Circular or Elliptical patches of light in the shadow of leaves of trees to be explained. Value of speed of light to be men.		Shadow effects produced by light from Point and extended sources. Pin-hole camera (Umbra and Penumbra).

(d)

Contents 1	Remarks 2	Practical 3	Demonstration 4
	tioned ; but no experiment need be described.		
10. Reflection at Plane surfaces. Laws of reflection. Lateral inversion.	The importance of smooth surface ; regular reflection as opposed to scattering. Inclined mirrors. Effect of rotating the mirror, effect of motion of the object. Size of mirror for viewing full image of a person. Periscope.	Verify—(i) Angle of incidence is equal to angle of reflection (ii) Image distance is equal to object distance (Pin method).	Action of Periscope, use in Vertical board and beam apparatus. Candle burning in water. Kaleidoscope.
11. Refraction. Snell's Law. Total reflection. Dispersion, composite nature of white light.	Reference to colours of a rainbow. Newton's colour disc to be demonstrated.	Verification of Snell's Law (Pin method).	Various experiments to demonstrate total internal reflection. Production of spectrum by Prism. Recombination of colours by inverted prisms. (Hartle's Disc).
12. Lens—graphical treatment only.	Idea of focal length ; real image—magnified, reduced ; virtual image.	f by $U—V$ method. (converging lenses only).	

সূচীপত্র

অধ্যায় ও পাঠ	বিষয়		পৃষ্ঠা

তাপ (Heat)

আলোক (Light)

প্রথম অধ্যায়—আলোকের সরলরেখায় গমন

দ্বিতীয় অধ্যায়—আলোকের প্রতিফলন

পদার্থবিদ্যা পরিচয়

সূচনা

পদার্থ (Matter)—আমরা যাহা দেখিতে পাই তাহাই কোন-না-কোন পদার্থ অথবা উহার প্রতিবিম্ব। কিন্তু সকল পদার্থ আমরা চোখে দেখিতে পাই না।

এই বায়ুর কথাই ধরা যাক। শ্বাসকার্য চালাইবার জন্য প্রতি মুহূর্তে আমাদের বায়ু আবশ্যক, কিন্তু বায়ুর অস্তিত্ব আমরা আমাদের ত্বক দ্বারা অনুভব করি, উহা আমরা চোখে দেখিতে পাই না। সুতরাং চোখ ব্যতীত অন্য ইন্দ্রিয়ের দ্বারাও আমাদের পদার্থের অনুভূতি জন্মে, কিন্তু ইন্দ্রিয় দ্বারা আমাদের পদার্থ ব্যতীত অন্য কিছুর অনুভূতিও জন্মিতে পারে। যেমন ত্বক দ্বারা আমরা তাপের অনুভূতি পাই কিন্তু তাপ পদার্থ নহে; কান দ্বারা আমরা শব্দ শুনিতে পাই কিন্তু শব্দ পদার্থ নহে।

সুতরাং দেখা গেল, পদার্থ আমাদের খুব পরিচিত হইলেও সাবধানে ইহার সংজ্ঞা স্থির করা আবশ্যক।

পদার্থের সংজ্ঞা এইরূপে দেওয়া যায়—যাহার ব্যাপ্তি আছে, অর্থাৎ যাহা স্থান জুড়িয়া অবস্থান করে এবং ভূপৃষ্ঠে থাকিলে যাহার ওজন থাকে, তাহাকে পদার্থ বলে।

এখন চিন্তা করিলেই বুঝিতে পারিবে যে, যে কোন পদার্থ কিছু স্থান জুড়িয়া থাকে এবং পদার্থের কিছু ওজনও আছে।

যে বস্তুতে পদার্থ যত বেশী থাকে, তাহার ওজনও তত বেশী হয়; কোন বস্তুতে যতটা পদার্থ থাকে তাহাকে ঐ বস্তুর **ভর (mass)** বলে, আর ঐ ভরকে পৃথিবী উহার নিজ কেন্দ্রের দিকে যত জোরে আকর্ষণ করে তাহাই ঐ বস্তুর **ভার** বা **ওজন (weight)**।

আমরা যখন বলি যে একটা জিনিসের ওজন 2 পাউণ্ড অথবা 1 কিলোগ্রাম, তখন প্রকৃতপক্ষে ঐ বস্তুর ভর 2 পাউণ্ড বা 1 কিলোগ্রাম প্রভৃতি বোঝাইয়া থাকি—ওজন বোঝাই না। কিন্তু 1 পাউণ্ড ভরকে পৃথিবী যত জোরে আকর্ষণ করে, 2 পাউণ্ড ভরকে তাহার দ্বিগুণ জোরে আকর্ষণ করে, 3 পাউণ্ড ভরকে তিনগুণ জোরে আকর্ষণ করে ইত্যাদি; সেই কারণে ভার বা ওজন ভরের সমানুপাতিক হয়, এবং আমরা সাধারণ কথায় ভরকেই ভার বা ওজন বলিয়া থাকি।

শক্তি (Energy)—কোন ভারী জিনিসকে উপরে তুলিতে হইলে আমাদের পরিশ্রম হয়, ভারী জিনিস বেশী ভারী হইলে হয়ত আমরা উহা উপরে তুলিতেই পারি না। যাহারা ঐরূপ ভারী কোন বস্তু উপরে তুলিতে পারে না, তাহাদের মধ্যে কেহ কেহ হয়ত বলে, "উহা উপরে তুলিতে আমার শক্তিতে কুলাইল না"; অর্থাৎ ঐ কাজ করিবার সামর্থ্য তাহার নাই। স্বতরাং **কাজ করিবার সামর্থ্যকেই শক্তি বলা হয়।**

আমরা যে কাজই করি না কেন, আমাদের একটু পরিশ্রম হইবেই, অর্থাৎ আমাদের শক্তি খরচ হইবে। প্রকৃতপক্ষে শক্তি খরচ না করিয়া আমরা কোন কাজই করিতে পারি না, এমনকি একখণ্ড তৃণকেও স্থানান্তরিত করিতে পারি না। আর কোন পদার্থের উপর শক্তি প্রয়োগ করিলেই উহার কোন-না-কোন পরিবর্তন ঘটিবে।

যদি একখানা ইট নীচ হইতে উপরে তুলিয়া আনি তবে উহার স্থান পরিবর্তন হইল, আর যদি নেহাই-এর উপর হাতুড়ি পিটাইতে থাকি তবে নেহাই-এর অবস্থানের বিশেষ পরিবর্তন ঘটিবে না কিন্তু উহা গরম হইবে—আগে ঠাণ্ডা ছিল শক্তি প্রয়োগের ফলে গরম হইল। এক টুক্‌রা বরফ লইয়া উহাতে খুব চাপ দেওয়া হইল, দেখা যাইবে বরফ একটু গলিয়া যাইবে; এখানে বরফের উষ্ণতা ঠিকই রহিল কিন্তু উহা কঠিন অবস্থা হইতে তরল অবস্থায় পরিণত হইল। শক্তি প্রয়োগের ফলেই এই অবস্থার পরিবর্তন ঘটিল।

একখানা সেলুলয়েড বা প্ল্যাষ্টিকের চিরুনী কাগজের কুচির নিকটে ধরিলাম, দেখা যাইবে কাগজ আকৃষ্ট হইবে না; ইহার পর ফ্লানেলের কাপড় দ্বারা উহা ঘষিয়া লইয়া আবার কাগজের কুচির উপর চিরুনীখানা ধরিলাম। দেখা যাইবে কাগজের কুচি চিরুনী দ্বারা আকৃষ্ট হইয়াছে। ফ্লানেল দ্বারা ঘষিবার আগে উহার কাগজের কুচি আকর্ষণ করিবার সামর্থ্য ছিল না, এখন উহার কাগজ আকর্ষণ করিবার সামর্থ্য উৎপন্ন হইয়াছে, অর্থাৎ উহাতে শক্তি দেখা দিয়াছে; ফ্লানেল দ্বারা ঘষিবার ফলেই ঐরূপ হইয়াছে, স্বতরাং ঘর্ষণ দ্বারাই উহাতে শক্তি প্রযুক্ত হইয়াছে এবং শক্তি প্রয়োগ করার ফলে উহার অবস্থার পরিবর্তন ঘটিয়াছে।

একটি লোহার দণ্ড কিছু লোহার ছোট পেরেক বা লৌহচূর্ণের নিকটে ধরিলাম, লোহার দণ্ড লোহার গুঁড়া বা পেরেককে আকর্ষণ করিবে না। লোহার দণ্ডকে এখন একখানা চুম্বকের একপ্রান্ত দ্বারা বেশ কয়েকবার ঘষিয়া লইলাম। এখন উহার লোহার গুঁড়া আকর্ষণ করিবার সামর্থ্য জন্মিয়াছে, অর্থাৎ উহাতে শক্তি প্রয়োগের ফলে উহার অবস্থার পরিবর্তন ঘটিয়াছে।

শক্তি কিভাবে কোথায় প্রযুক্ত হইতেছে তাহা হয়ত সকল ক্ষেত্রে এখনই তোমরা বুঝিতে পারিবে না, কিন্তু মনে রাখিও শক্তি প্রয়োগ বা শক্তি অপসারণ ভিন্ন কোন বস্তুর কোনপ্রকার পরিবর্তন ঘটানোই সম্ভবপর নহে। সেই কারণে শক্তির সংজ্ঞা এইভাবেও দেওয়া যাইতে পারে—**যাহা দ্বারা পদার্থের মধ্যে কোন পরিবর্তন সংঘটিত করা যায় তাহাই শক্তি।**

কোন বস্তুকে তাপ দিলে, অথবা কোন তারের ভিতর দিয়া বিদ্যুৎপ্রবাহ চালাইলে, অথবা লোহাকে চুম্বক করিলে, পদার্থের মধ্যে অন্তত সাময়িকভাবে পরিবর্তন ঘটানো যায়। সুতরাং **তাপ, বিদ্যুৎ ও চুম্বকত্ব** শক্তির বিভিন্ন প্রকাশ মাত্র।

লোহাকে রোদ ও বৃষ্টির মধ্যে ফেলিয়া রাখিলে উহাতে মরিচা ধরে, অর্থাৎ লোহার অবস্থান্তর ঘটে, সুতরাং লোহাতে মরিচা ধরাইতে হইলেও একপ্রকার শক্তি প্রযুক্ত হয়। যে শক্তি পদার্থের গঠনে এই পরিবর্তন আনে, তাহাকে **রাসায়নিক শক্তি** বলা হয়।

এইভাবে চিন্তা করিলে বোঝা যায় যে, **আলোক** এবং **শব্দও** শক্তি। কারণ, আলোক ফটোগ্রাফের কাগজে পরিবর্তন ঘটাইতে পারে এবং শব্দ প্রচণ্ড হইলে জানালার সার্সী প্রভৃতি কাঁপিয়া উঠে।

পদার্থবিদ্যা (Physics)—শক্তির প্রভাবে পদার্থের গঠন যে সকল ক্ষেত্রে আমূল পরিবর্তিত হইয়া যায়, সাধারণত সেই সকল প্রভাব ছাড়া* পদার্থের উপর শক্তির এবং শক্তির উপর পদার্থের প্রভাব বিচার করা এবং বিশেষত বিভিন্ন প্রকার শক্তির স্বরূপ বিচার করাই পদার্থবিদ্যার বিষয়বস্তু।

পদার্থবিদ্যা সম্পর্কে উপযুক্ত জ্ঞান অর্জন করিলে পৃথিবীর বহু নৈসর্গিক ঘটনার মূল কারণ অবগত হওয়া যায় এবং আমাদের দৈনন্দিন জীবনে আমরা যে সকল বৈজ্ঞানিক যন্ত্রপাতি ব্যবহার করিয়া আরাম উপভোগ করিতেছি তাহার কার্যপ্রণালী বুঝিতে পারা যায়।

টর্চ লাইট দ্বারা কি করিয়া আলো জ্বালানো যায়, শহরে চাবি টিপিয়া কি করিয়া বৈদ্যুতিক আলো জ্বালানো যায়, পাখা চালানো যায়, রেডিও চালানো যায়; কিভাবে ট্রাম, বাস্ এবং রেলগাড়ী চলে; কিভাবে এরোপ্লেন ও বেলুন আকাশে উড়ে; কিভাবে সিনেমাতে চলন্ত বস্তু দেখা যায় এবং কথা শোনা যায়; গ্রামোফোনে কি করিয়া কথা শোনা যায়, কি করিয়া এক্সরে উৎপন্ন হয়, কিভাবে কাঁচনলে বিভিন্ন

* শক্তির প্রভাবে পদার্থের আণবিক গঠনে পরিবর্তন সাধিত হইলে রাসায়নিক ক্রিয়া ঘটে। সাধারণত পদার্থের উপর শক্তির ঐ প্রকার প্রভাব রসায়নের (Chemistry) অন্তর্ভুক্ত। কিন্তু রসায়ন এবং পদার্থবিদ্যার পারস্পরিক সম্পর্ক অবিচ্ছেদ্য।

বর্ণের আলোক জ্বালাইয়া বিজ্ঞাপন দেওয়া হয়, ইত্যাদি বহু বিষয় আমরা পদার্থবিদ্যা পড়িয়া জানিতে পারি।

আবার আকাশে মেঘ কেন দেখা দেয়, বৃষ্টি কেন হয়, কেন বিদ্যুৎ চমকায়, কেন রামধনু দেখা যায়, কেন বৃষ্টির ছোট ফোঁটা কচুপাতার উপর গোলাকার ধারণ করিয়া অবস্থান করে, কেন মরুভূমিতে মরীচিকা দেখা যায়, ইত্যাদি বহু 'কেন'র উত্তর আমরা পাই পদার্থবিদ্যা হইতে।

এককথায় বলা যায়, জড় পদার্থ ও শক্তি সম্পর্কে মানুষের মনে যত প্রশ্ন জাগরিত হয় তাহার উত্তর পাওয়া যায় পদার্থবিদ্যা এবং রসায়ন হইতে ; তন্মধ্যে অধিকাংশ নৈসর্গিক ঘটনার কারণ এবং উল্লেখযোগ্য যন্ত্রপাতির কার্যকলাপ বুঝিতে হইলে পদার্থবিদ্যার শরণ লইতে হইবে। ইঞ্জিনিয়ারগণ যত কলকারখানা প্রস্তুত করেন, যত যন্ত্রপাতি উদ্ভাবন করেন, তাহার মূলে রহিয়াছে পদার্থবিদ্যার জ্ঞান।

যে দেশে যত উচ্চস্তরের পদার্থবিদ থাকেন সেই দেশে বিজ্ঞানের প্রসার তত বেশী ঘটে, সেই দেশে তত বেশী কার্যকরী যন্ত্রপাতি আবিষ্কৃত হয়।

উপরের সংক্ষিপ্ত বিবরণ হইতেই বোঝা যায় পদার্থবিদ্যার বিষয়বস্তু কত ব্যাপক। সেই কারণে পদার্থবিদ্যাকে কয়েকটি শাখায় বিভক্ত করা হইয়াছে ; যথা—

1. **সাধারণ পদার্থবিদ্যা** (**General Physics**)—ইহাতে বলবিদ্যা (**Mechanics**) এবং পদার্থের সাধারণ গুণ আলোচিত হইয়া থাকে, 2. **তাপ** (**Heat**), 3. **আলোক** (**Light**), 4. **শব্দ** (**Sound**), 5. **চুম্বকত্ব** (**Magnetism**), এবং 6. **বিদ্যুৎ** (**Electricity**)—শেষের পাঁচটি শাখায় যথাক্রমে ঐ পাঁচটি শক্তির প্রভাব ও স্বরূপ আলোচিত হইয়া থাকে।

এই পুস্তকে পদার্থবিদ্যা শিখিবার প্রথম ধাপ হিসাবে কয়েকটি সহজবোধ্য মূলতত্ত্ব আলোচিত হইয়াছে। কোন ভাষার সাহিত্য পাঠ করিয়া আনন্দ লাভ করিতে হইলে প্রথমে যেমন বর্ণমালার সহিত পরিচিত হওয়া প্রয়োজন, সেইরূপ পদার্থবিদ্যা শিখিবার প্রথম ধাপ হিসাবে কয়েকটি মূলতত্ত্বের সহিত পরিচিত হওয়া আবশ্যক। এই পুস্তকে আংশিকভাবে ঐ প্রাথমিক পরিচয়টুকু ঘটাইবার চেষ্টা করা হইয়াছে মাত্র।

প্রশ্ন

1. পদার্থ কাহাকে বলে বোঝাইয়া বল।
(Explain what is meant by matter.)
2. শক্তির সহজ সংজ্ঞা ও তদনুযায়ী উদাহরণ দাও।
(Give a simple definition of energy and illustrate your answer by examples.)

সাধারণ পদার্থবিদ্যা

প্রথম অধ্যায়

পরিমাপ ও একক

প্রথম পাঠ

1.1. পরিমাপ (Measurement) :

আমাদের দৈনন্দিন জীবনে চোখের আন্দাজে আমরা বহু কাজ করিয়া থাকি। মা রান্না করিবার সময় চোখের আন্দাজে তরকারিতে নুন দিয়া থাকেন এবং তাহাতে প্রায়ই নুন ঠিক হয়; ক্যারম খেলা বা গুলি খেলার সময়ে ছেলেরা প্রায়ই উদ্দিষ্ট গুটি বা গুলি ঠিক স্থানে ফেলিতে পারে; গায়ে হাত দিয়া অনেকে রোগীর জ্বর অনুমান করিতে পারে; কোন বস্তু হাতে তুলিয়া ইহার ওজন কত তাহা অনেকে মোটামুটি বলিয়া দিতে পারে। একটা ঘরের দৈর্ঘ্য দেখিয়া উহা কয় ফুট তাহা আমরা আন্দাজ করিতে পারি; পর পর দুইটি ঘটনার মধ্যবর্তী সময় কত তাহা আমরা অনুমান করিয়া বলিতে পারি।

কিন্তু তাই বলিয়া আমরা সব সময়ে আন্দাজের উপর নির্ভর করিয়া চলিতে পারি না।

ছুতোর মিস্ত্রীরা সঠিক মাপজোখ না করিয়া আসবাবপত্র তৈরি করিতে পারে না, রাজমিস্ত্রীরা সঠিক মাপজোখ না করিয়া বাড়ী তৈরি করিতে পারে না, সঠিকভাবে ওজন না করিয়া আমরা বাজার হইতে জিনিস কিনি না, সঠিক মাপ না দিয়া আমরা জামা প্রস্তুত করি না, সঠিক সময়ে স্টেশনে না পৌঁছিলে হয় আমরা গাড়ী ধরিতে পারি না, নতুবা বহু আগে স্টেশনে আসিয়া অযথা সময় নষ্ট করি।

বিজ্ঞানের চর্চায় আন্দাজের স্থান একেবারে নগণ্য নহে, কিন্তু বিজ্ঞানের পরীক্ষাগারে যথাসম্ভব সঠিকভাবে মাপজোখ করিবার প্রয়োজনই অধিক। বৈজ্ঞানিক তথ্য আবিষ্কার করিতে এবং বিশেষভাবে কোন বৈজ্ঞানিক তথ্যের সত্যতা সম্পর্কে নিঃসন্দেহ হইতে হইলে নিখুঁত মাপজোখের সাহায্যেই আমরা প্রকৃত সিদ্ধান্তে পৌঁছিতে পারি। বিশেষত পদার্থবিদ্যার মূল তত্ত্বগুলি অধিকাংশ ক্ষেত্রে গাণিতিক সূত্র বা সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা চলে এবং ঐ তত্ত্বগুলির সত্যতা নিখুঁতভাবে প্রমাণ করিতে হইলে অতি সূক্ষ্ম মাপজোখ দ্বারাই তাহা প্রতিপন্ন করা সম্ভবপর হইয়া থাকে। সুতরাং সঠিক পরিমাপ পদার্থবিদ্যার মূল ভিত্তি।

1.11. একক ও পরিমাপের বিধি (Units and Rules of Measurement) :

আমরা যাহা পরিমাপ করিতে পারি, তাহাই কোন-না-কোন রাশি (quantity); যাহা রাশি নহে তাহা মাপা যায় না। পাঁচ টাকা, সাত ফুট, দশ ঘণ্টা, পঁচিশ কিলোগ্র্যাম, 16 বর্গফুট, 30 ঘনফুট প্রভৃতি প্রত্যেক কথায় কোন না-কোন জিনিসের পরিমাণ বুঝায়। এই সকল পরিমাণের প্রত্যেকটির মধ্যে স্পষ্টত দুইটি কথা আছে—প্রথমটি সংখ্যা জ্ঞাপক এবং দ্বিতীয়টি একক জ্ঞাপক।

পাঁচ টাকার মধ্যে 'পাঁচ' কথাটা সংখ্যা জ্ঞাপন করিতেছে। শুধু পাঁচ বলিলে যে আমরা কিছুই বুঝি না তাহা নহে। পাঁচ বলিলেই আমাদের মনে একটা সংখ্যার পরিমাণ সম্পর্কে ধারণা জন্মে। কিন্তু পাঁচ টাকা বলিলে একটা অর্থের পরিমাণ বুঝিতে পারি। সেইজন্য '5' একটা সংখ্যা কিন্তু '5 টাকা' একটা রাশি। টাকা কথাটা অর্থের পরিমাণের একক। এখানে এক টাকাকে অর্থের পরিমাণের একক ধরিলে পাঁচ টাকার মধ্যে ঐ একক পাঁচ বার আছে বুঝা যাইবে। সুতরাং 5 টাকার নোট ভাঙ্গাইয়া 5টি টাকা পাওয়া যাইবে।

সেইরূপ কোন বস্তুর ওজন পঁচিশ কিলোগ্র্যাম বলিলে, ওজনের একক কিলোগ্র্যাম ঐ বস্তুর ওজনে পঁচিশ বার আছে বুঝিতে হইবে। সুতরাং কোন কিছুর পরিমাপ করিতে হইলে সর্বপ্রথম সেই জিনিসের এক বলিলে কি বুঝিব বা কি বুঝাইব তাহা স্থির করিতে হইবে। ইহাই ঐ জিনিস মাপিবার মাপকাঠি বা একক (unit) হইবে; মাপকাঠি বা একক স্থির হইলে ঐ একক ঐ জিনিসের মধ্যে কতবার উপস্থিত আছে তাহা স্থির করিতে হইবে। তাহা হইলেই ঐ জিনিসের পরিমাণ স্থির হইল।

যে কাপড়ের দৈর্ঘ্য পাঁচ মিটার, তাহা মাপিয়া দেখিতে হইলে একটা এক মিটার লম্বা মাপকাঠি লইলে মাপিয়া দেখা যাইবে যে উহা পাঁচ বার ঐ কাপড়ের দৈর্ঘ্যের উপর পর পর এক সরলরেখা ক্রমে পড়ে।

সেইরূপ 25 কিলোগ্র্যাম দুধ বলিলে বুঝিতে হইবে যে দুধের ওজনের (প্রকৃতপক্ষে ভরের) একক এক কিলোগ্র্যাম দুধ, পঁচিশ বার লওয়া হইয়াছে।

7 গ্যালন পেট্রল বলিলে বুঝিতে হইবে যে পেট্রলের আয়তনের একক এক গ্যালন পেট্রল সাত বার লওয়া হইয়াছে।

সেইরূপ 5 ঘণ্টা বলিলে 1 ঘণ্টা যত সময় বুঝায় তাহার 5 গুণ সময় বোঝা যাইবে।

এইভাবে প্রত্যক প্রকার পরিমাপের জন্য আমরা প্রথমে সুবিধামত একক স্থির করিয়া লইলে ঐ এককের গুণিতক বা ভগ্নাংশ দ্বারা যাহা মাপা হইতেছে তাহার মান

বা পরিমাণ নির্দেশ করিয়া থাকি। 10 গ্যালন পেট্রল, 100 বর্গফুট কার্পেট, 3 একর জমি, 5 ভরি সোনা, 20 মিনিট সময়, গাড়ীর বেগ ঘণ্টায় 30 মাইল প্রভৃতি কত প্রকার রাশি যে আমরা মাপিয়া থাকি, তাহা বলিয়া শেষ করিতে পারা যায় না।

পরিমাপের বিভিন্ন প্রণালী (Different Systems of Measurement) :

কিন্তু চিন্তা করিলে দেখা যায় যে আমরা মূলত **দৈর্ঘ্য (Length), ভর (Mass)** ও **সময় (Time)** এই তিন জিনিস ছাড়া আর কিছুই পরিমাপ করি না। বিভিন্ন দেশে ঐ তিনটি জিনিস মাপিবার জন্য বিভিন্ন একক ব্যবহৃত হইয়া থাকে। যথা—

	ভারতবর্ষ (প্রাচীন একক)	ইংলণ্ড	ফ্রান্স
দৈর্ঘ্য	এক হাত	এক ফুট (Foot)	এক সেণ্টিমিটার (Centimetre)
ভর	এক সের	এক পাউণ্ড (Pound)	এক গ্র্যাম (Gram)
সময়	এক দণ্ড	এক সেকেণ্ড (Second)	এক সেকেণ্ড (Second)

বিজ্ঞানে ফরাসী দেশীয় একক সর্বত্র চলে, ইংলণ্ডের এককও কিছু কিছু চলে। ভারতবর্ষের প্রাচীন একক চলে না; ভারতবর্ষের আধুনিক এককগুলি এবং ফরাসী দেশীয় এককগুলি একই প্রকার।

ইংলণ্ড দেশীয় মূল এককগুলির সাহায্যে পরিমাপ করিবার প্রণালীকে বলা হয় **ফুট-পাউণ্ড-সেকেণ্ড প্রণালী (Foot-Pound-Second System)** বা সংক্ষেপে F. P. S. প্রণালী।

ফরাসী দেশীয় মূল এককগুলির সাহায্যে পরিমাপ করিবার প্রণালীকে বলা হয় **সেন্টিমিটার-গ্র্যাম-সেকেণ্ড প্রণালী (Centimetre-Gram-Second System)** বা সংক্ষেপে C. G. S. প্রণালী।

এক ফুট বলিলে কতটা দূরত্ব বুঝায় তাহা তোমরা জান, সেইরূপ পাউণ্ড এবং সেকেণ্ড সম্পর্কেও তোমাদের ধারণা আছে। সেণ্টিমিটার এবং গ্র্যাম আমাদের দেশে সর্বত্র ব্যবহার্য একক হিসাবে নূতন প্রচলিত হইয়াছে; সুতরাং ফুট এবং পাউণ্ডের সহিত ঐগুলির সম্পর্ক জানিলে তোমাদের ধারণা এ-বিষয়ে স্পষ্ট হইবে।

1 ফুট = 30·48 সেণ্টিমিটার

1 পাউণ্ড = 453·56 গ্র্যাম

[1 ইঞ্চি = 2·54 সেণ্টিমিটার

1 সেণ্টিমিটার = ·3937 ইঞ্চি]

উভয় প্রণালীতেই সময়ের একক এক সেকেণ্ড।

প্রত্যেক দেশে গবর্নমেণ্টের বিশেষ তত্ত্বাবধানে দৈর্ঘ্য এবং ভরের একক রক্ষিত থাকে। ইংলণ্ডে "বোর্ড অব ট্রেড" অফিসে একটি ব্রোঞ্জ নির্মিত দণ্ড রক্ষিত আছে, ঐ দণ্ডের উপর দুইটি সোনার বল আছে এবং বল দুইটির উপর দুইটি দাগ আছে। ঐ দুই দাগের দূরত্বকে এক গজ বলা হয়। 1 ফুট উহারই এক-তৃতীয়াংশ। ঐ অফিসে এক খণ্ড প্ল্যাটিনাম আছে, উহার ভর 1 পাউণ্ড।

ফ্রান্সের নিকটে সেভার্স নামক স্থানে "ইন্টারন্যাশনাল ব্যুরো অব ওয়েটস্ এণ্ড মেজার" অফিসে একটি প্ল্যাটিনাম ও ইরিডিয়ামের সঙ্কর ধাতু নির্মিত দণ্ডের উপর দুইটি দাগ আছে। ঐ দুই দাগের অন্তর্বর্তী দূরত্ব এক মিটার। 1 সেন্টিমিটার উহারই এক শত ভাগের এক ভাগ। ঐ অফিসে একটি প্ল্যাটিনাম ইরিডিয়াম নির্মিত সিলিণ্ডার রক্ষিত আছে; উহার ভর এক কিলোগ্র্যাম; 1 গ্র্যাম ঐ ভরের এক হাজার ভাগের এক ভাগ। ভারতবর্ষে সম্প্রতি প্রচলিত C. G. S. প্রণালীর দৈর্ঘ্যের এবং ভরের একক যথাক্রমে মিটার এবং এক কিলোগ্র্যাম দিল্লীতে অবস্থিত ন্যাশনাল ফিজিক্যাল লেবরেটরীতে (National Physical Laboratory) রাখিবার ব্যবস্থা হইতেছে।

সময়ের একক 1 সেকেণ্ড এক সৌর দিনের 86400 অংশের এক অংশ। তোমরা জান 60 সেকেণ্ডে 1 মিনিট, 60 মিনিটে 1 ঘণ্টা এবং 24 ঘণ্টায় 1 দিন।

$$\text{সুতরাং } 1 \text{ সেকেণ্ড} = \frac{1}{24 \times 60 \times 60} \text{ দিন}$$
$$= \frac{1}{86400} \text{ দিন।}$$

একক হিসাবে ঐভাবে ইহা প্রকাশিত হইলেও এক সেকেণ্ড সময় কতটুকু তাহা তোমাদের ধারণা আছে। সেইরূপ 1 মিনিট এবং 1 ঘণ্টা সম্পর্কেও তোমাদের স্পষ্টতর ধারণা আছে।

সময়ের একক ঘড়ি দ্বারা নির্ণয় করা যায়। ভাল ঘড়ি (ক্রনোমিটার) দ্বারা খুব সূক্ষ্মভাবে সময় নির্ণয় করা চলে, কিন্তু প্রামাণ্য একক হিসাবে গড় সৌর দিনকে সর্বত্র একক ধরা হইয়া থাকে। সময়ের মূল একক এক সেকেণ্ড।

মূল এককের সহিত অন্যান্য সাধারণ ব্যবহার্য লব্ধ (derived) এককের সম্পর্ক—

(1) ক্ষেত্রফল (Area)—

F. P. S. প্রণালী অনুসারে যে বর্গক্ষেত্রের দৈর্ঘ্য 1 ফুট এবং প্রস্থ 1 ফুট, উহার ক্ষেত্রফল 1 বর্গফুট এবং ইহাই, অর্থাৎ 1 বর্গফুট ক্ষেত্রফলের একক।

এক গজ = 3 ফুট, সুতরাং যে ক্ষেত্রফলের দৈর্ঘ্য 1 গজ এবং প্রস্থ 1 গজ, উহার ক্ষেত্রফল 1 বর্গগজ। ∴ 1 বর্গগজ = 9 বর্গফুট।

C. G. S. প্রণালী অনুসারে যে বর্গক্ষেত্রের দৈর্ঘ্য 1 সেন্টিমিটার এবং প্রস্থ 1 সেন্টিমিটার, উহার ক্ষেত্রফল 1 বর্গসেন্টিমিটার এবং ইহাই, অর্থাৎ **এক বর্গ-সেন্টিমিটার** এই প্রণালীতে ক্ষেত্রফলের একক। যে বর্গক্ষেত্রের দৈর্ঘ্য 1 মিটার এবং প্রস্থ 1 মিটার, উহার ক্ষেত্রফল 1 বর্গমিটার। 1 মিটার = 100 সেন্টিমিটার। ∴ 1 বর্গমিটার = 10000 বর্গসেন্টিমিটার।

(2) আয়তন (Volume) —

F. P. S. প্রণালী অনুসারে যে ঘনকের দৈর্ঘ্য 1 ফুট, প্রস্থ 1 ফুট এবং উচ্চতা 1 ফুট, উহার ঘনফল 1 ঘনফুট এবং এই প্রণালী অনুসারে **1 ঘনফুট (1 cubic foot)** আয়তনের একক। যে ঘনকের দৈর্ঘ্য, প্রস্থ এবং উচ্চতা প্রত্যেক দিকের মাপ 1 গজ, ইহার আয়তন হইবে 1 ঘনগজ এবং 1 ঘনগজ = 27 ঘনফুট।

C. G. S. প্রণালী অনুসারে যে ঘনকের দৈর্ঘ্য, প্রস্থ এবং উচ্চতা প্রত্যেক দিকের মাপ 1 সেন্টিমিটার, উহার আয়তন 1 ঘনসেন্টিমিটার; এবং এই প্রণালীতে **1 ঘনসেন্টিমিটার** আয়তনের একক। যে ঘনকের দৈর্ঘ্য, প্রস্থ এবং উচ্চতা প্রত্যেক দিকের মাপ 1 মিটার, উহার আয়তন 1 ঘনমিটার। 1 ঘনমিটার = $100 \times 100 \times 100 = 1000000$ ঘনসেন্টিমিটার।

1000 ঘনসেন্টিমিটারকে 1 লিটার বলা হয়। সুতরাং এক ঘনমিটার = 1000 লিটার। কিন্তু লিটার এককটি তরল এবং গ্যাসের আয়তন মাপিবার জন্যই ব্যবহৃত হয়।

সাধারণ কাজের জন্য মনে রাখ—

1 ঘনফুট ঠাণ্ডা* জলের ভর 62·5 পাউণ্ড

1 ঘনসেন্টিমিটার ঠাণ্ডা* জলের ভর 1 গ্র্যাম।

ব্যবহারিক একক (Practical units)—কোন রাশি যে কোন প্রণালীতে মাপিতে হইলে ঐ প্রণালীর মূল একক দ্বারা সকল সময় প্রকাশ করা সুবিধাজনক হয় না। সেই কারণে বৃহৎ রাশির মান নির্ণয়ের জন্য মূল এককের বৃহৎ গুণিতককে একক ধরা হয় এবং ক্ষুদ্র রাশির মান নির্ণয়ের জন্য মূল এককের ভগ্নাংশকে একক ধরা হইয়া থাকে।

* সূক্ষ্ম হিসাবে 4°C অর্থাৎ চার ডিগ্রি সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায়।

F. P. S. প্রণালীতে এক শহর হইতে অপর শহরের দূরত্ব বা এক দেশ হইতে অপর দেশের দূরত্ব আমরা মাইল দ্বারা প্রকাশ করিয়া থাকি। তোমরা জান

3 ফুট = 1 গজ ; 1760 গজ = 1 মাইল।

এই স্থলে মাইলই ব্যবহারিক (Practical) একক, এবং উহা ফুটের 5280 গুণ, আবার কাপড়ের দৈর্ঘ্য F. P. S. প্রণালীতে আমরা গজ দ্বারা মাপাই সুবিধাজনক মনে করি। এখানে গজই ব্যবহারিক একক।

কিন্তু একখানা বই-এর দৈর্ঘ্য মাপিতে আমরা ইঞ্চি দ্বারা উহা প্রকাশ করি। আমরা বলি কোনও বই-এর দৈর্ঘ্য 9 ইঞ্চি। প্রত্যেক ইঞ্চি এক ফুটের $\frac{1}{12}$ অংশ।

ঐ প্রণালীতে ভরের একক 1 পাউণ্ড, কিন্তু বেশী ভর মাপিতে হইলে আমরা কোয়ার্টার (28 পাউণ্ড), হন্দর (112 পাউণ্ড), টন (2240 পাউণ্ড) প্রভৃতি একক ব্যবহার করি। আবার অল্প ওজন মাপিতে হইলে হাফ পাউণ্ড ($\frac{1}{2}$ পাউণ্ড), কোয়ার্টার পাউণ্ড ($\frac{1}{4}$ পাউণ্ড), আউন্স ($\frac{1}{16}$ পাউণ্ড) প্রভৃতি একক ব্যবহার করি।

কিন্তু এই সকল ক্ষেত্রে কোন ক্ষুদ্র একক হইতে পর পর বৃহত্তর এককগুলির সম্পর্ক কোন নির্দিষ্ট সংখ্যার গুণিতক হয় না। যেমন,

16 আউন্স = 1 পাউণ্ড
28 পাউণ্ড = 1 কোয়ার্টার
4 কোয়ার্টার = 1 হন্দর
20 হন্দর = 1 টন

সুতরাং আউন্সের সহিত পাউণ্ডের যে সম্পর্ক, পাউণ্ডের সহিত কোয়ার্টারের সেই সম্পর্ক নহে, কোয়ার্টারের সহিত হন্দরের সেই সম্পর্ক নহে এবং হন্দরের সহিত টনের সেই সম্পর্ক নহে।

দৈর্ঘ্যের বড় এবং ছোট এককগুলি সম্পর্কেও একই কথা প্রযোজ্য।

পরিমাপের দশমিক প্রণালী—

এই সকল কারণে ফ্রান্সে যে প্রণালীর প্রবর্তন হয়, তাহা প্রাচীন অন্যান্য অনেক দেশের পরিমাপের প্রণালীর তুলনায় আধুনিক বলিয়া উহাতে এই অসুবিধা দূর করিয়া যে কোন ক্ষুদ্র একক হইতে পর পর বৃহত্তর এককগুলির সম্পর্ক 10 সংখ্যার গুণফল দ্বারা স্থিরীকৃত হইয়াছে। আমাদের সংখ্যালিখন প্রণালীতেও আমরা একক, দশক, শতক, সহস্র বা দশমিক বিন্দুর ডান পাশের দশমাংশ, শতাংশ, সহস্রাংশ প্রভৃতির যে কোন ঘর হইতে ক্রমশ বাম পাশে যত আসিতে থাকি ততই কোন অঙ্কের স্থানীয় মান দশগুণ বাড়িয়া চলে। সেই কারণে C. G. S. প্রণালীর মাপকে

দশমিক প্রণালী বলা হয়। আমাদের দেশেও এই প্রণালী 1958 খ্রীস্টাব্দ হইতে প্রবর্তিত হইয়াছে।

C. G. S. প্রণালীর বা দশমিক প্রণালীর বিভিন্ন নামতা মুখস্থ করিবার প্রয়োজন নাই, এক প্রকার একক হইতে ক্রমাগত বড় এককে যাইতে 10, 100 বা 1000 প্রভৃতি দ্বারা গুণ করিলেই চলে; আবার ঐ একক হইতে ক্ষুদ্রতর এককে যাইতে 10, 100 বা 1000 প্রভৃতি দ্বারা ভাগ করিলেই চলে। আর 10, 100, 1000 প্রভৃতি দ্বারা গুণ বা ভাগ করা অতি সহজ ব্যাপার; দশমিক বিন্দু (অথবা এককের ঘরের স্থান) ডান বা বাম পাশে এক, দুই বা তিন ঘর সরাইলেই চলে।

দশমিক প্রণালীতে একক পরিবর্তনের জন্য নিম্নলিখিত শব্দ কয়টির অর্থ মনে রাখাই যথেষ্ট:

ডেকা = 10 গুণ
হেক্টো = 100 গুণ
কিলো = 1000 গুণ
মেরিয়া = 10000 গুণ

ডেসি = $\frac{1}{10}$ অংশ
সেন্টি = $\frac{1}{100}$ অংশ
মিলি = $\frac{1}{1000}$ অংশ

সুতরাং, 1 ডেকাগ্র্যাম = 10 গ্র্যাম
1 হেক্টোগ্র্যাম = 100 গ্র্যাম = 10 ডেকাগ্র্যাম
1 কিলোগ্র্যাম = 1000 গ্র্যাম = 10 হেক্টোগ্র্যাম
1 ডেসিগ্র্যাম = $\frac{1}{10}$ গ্র্যাম = ·1 গ্র্যাম
1 সেন্টিগ্র্যাম = $\frac{1}{100}$ গ্র্যাম = ·01 গ্র্যাম
1 মিলিগ্র্যাম = $\frac{1}{1000}$ গ্র্যাম = ·001 গ্র্যাম

সেইরূপ 1 কিলোমিটার = 1000 মিটার
1 সেন্টিমিটার = $\frac{1}{100}$ মিটার = ·01 মিটার
1 মিলিমিটার = $\frac{1}{1000}$ মিটার = ·001 মিটার

পরিমাপের একক এবং ব্যবস্থার পরিবর্তন—কয়লা মাপিতে হইলে আমরা যেরূপ দাঁড়িপাল্লা বা তুলাযন্ত্র ব্যবহার করি, সোনা মাপিতে তাহা ব্যবহার করি না। নুন মাপিতে হইলে ওজনের (প্রকৃতপক্ষে ভরের) যে একক ব্যবহার করি তাহা কিলোগ্র্যাম; সোনা মাপিতে ব্যবহার করি ডেকাগ্র্যাম। সুতরাং পরিমাপের ব্যবস্থা, যন্ত্র এবং মাপকাঠি পরিমেয় বস্তুর পরিমাণের উপর নির্ভর করে—যথাস্থলে উপযুক্ত ব্যবস্থা, যন্ত্র এবং মাপকাঠি ব্যবহার করিতে হয়।

প্রশ্ন

1. 18″ = 1 হাত ধরিয়া একখানা 10 হাত লম্বা কাপড়ের দৈর্ঘ্য সেন্টিমিটারে প্রকাশ কর।

(Express the length of a piece of cloth 10 cubits long in centimetres, assuming 1 cubit = 18 inches.) [Ans. 457·2 সে.মি.]

2. 1 মাইল কত কিলোমিটারের সমান ?

(How many Kilometres are equivalent to a mile ?) [Ans. 1·609 কি.মি.]

3. কোন বস্তুর ওজন 17 পাউণ্ড ; উহা কত গ্র্যামের সমান ?

(A body weighs 17 lbs. ; what is its weight in grams ?) [Ans. 7710·52 গ্র্যাম]

4. 4 ফুট দৈর্ঘ্য এবং $2\frac{1}{2}$ ফুট প্রস্থ বিশিষ্ট একটি টেবিলের উপরের ক্ষেত্রফল কত বর্গমিটার ?

(How many square metres is the area of the top of a table 4 ft. in length and $2\frac{1}{2}$ ft. in breadth ?) [Ans. ·9290 বর্গ. মি.]

5. যে চৌপলের দৈর্ঘ্য 4 ফুট, প্রস্থ 3 ফুট এবং উচ্চতা 2 ফুট, উহার ঘনফল কত ঘনসেণ্টিমিটার ?

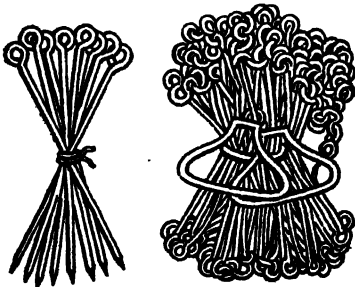
(Find in cubic cm. the volume of a rectangular parallelopiped of length 4 ft., breadth 3 ft. and height 2 ft.) (Ans. 679597 ঘনসে.মি.)

6. এক ঘনমিটার কত ঘনফুটের সমান ?

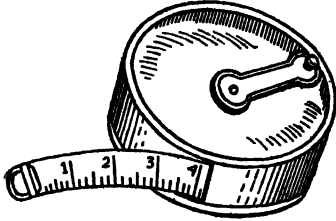
(Express a cubic metre in terms of cubic ft.) [Ans. 35·3184 ঘনফুট]

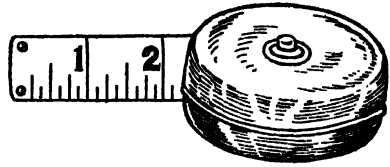
দ্বিতীয় পাঠ

1.2. দৈর্ঘ্য মাপিবার প্রণালী (Measurement of Length) :

মনে কর এক স্থান হইতে অন্য স্থান পর্যন্ত একটি সড়ক চলিয়া গিয়াছে। সড়কের পাশে মাইলের খুঁটি বসাইতে হইবে। তখন উহা মাপিতে হইলে শিকল (chain) দ্বারা মাপিতে হয়। ঐ শিকল পরস্পর সংলগ্ন একফুট লম্বা লোহার শলাকা দ্বারা গঠিত হয়। ইহার সাহায্যে বাঁকা-চোরা রাস্তার দৈর্ঘ্যও মাপা যায়। ঐ শিকল, এক একটি সাধারণত 60 ফুট লম্বা থাকে।

রাস্তার দৈর্ঘ্য মাপিবার শিকল (ডাইনে) ও শিকলের কাঁটা (বামে)

ঘর-বাড়ীর দৈর্ঘ্য বা প্রস্থ মাপিতে হইলে মাপিবার ফিতা (Measuring tape)

ব্যবহার করা হয়। ঐ ফিতার উপর ফুট ও ইঞ্চির দাগ কাটা থাকে; অথবা মিটার এবং সেন্টিমিটার দাগ কাটা থাকিতে পারে। ঐ ফিতা গুটাইয়া একটা কাঠের বাক্সে রক্ষিত থাকে। হাতল ঘুরাইয়া ফিতা গুটাইতে হয়, অথবা বাহির করিতে হয়।

দৈর্ঘ্য মাপিবার ফিতা

(a) সাধারণ (b) স্টীলের তৈরি

আজকাল স্টীলের তৈরি মেজারিং টেইপ স্টীলের কৌটায় আবদ্ধ অবস্থায় পাওয়া যায়; উহার এক প্রান্ত ধরিয়া টানিয়া বাহির করিলে স্টীলের ফিতা সটান হইয়া থাকে।

কাপড়ের মাপ লইতে হইলে বাজারে গজকাঠি ব্যবহার করা হইত; 1962 সালের অক্টোবর মাস হইতে মিটার স্কেল ব্যবহৃত হইতেছে।

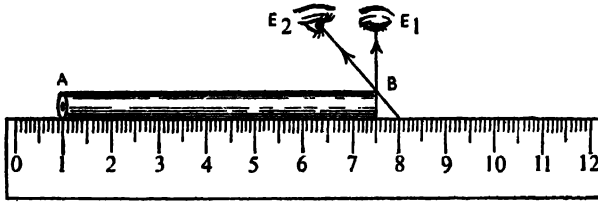
স্কুল-কলেজের পরীক্ষাগারের মিটার স্কেল একখানা ভাল কাঠের এক মিটার লম্বা স্কেল। ইহাতে ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র এক হাজার সমান দাগ আছে। প্রত্যেক দাগের দূরত্ব 1 মিলিমিটার। প্রতি দশ ভাগের পর একটি বড় দাগ দিয়া উহাতে সেন্টিমিটার চিহ্নিত আছে এবং স্কেলে 100 সেন্টিমিটার পর্যন্ত দাগ আছে।

পরীক্ষা—একটি মিটার স্কেল এবং একটি মেজারিং টেইপ সংগ্রহ কর। স্কুলের ঘরের বা প্রাঙ্গণের দৈর্ঘ্য (এবং প্রস্থ) মেজারিং টেইপ দ্বারা একবার মাপিয়া কত ফুট হইল স্থির কর। ইহার পর একই দৈর্ঘ্যের একটি সুতা অথবা ঐ মেজারিং টেইপের যে দাগ পর্যন্ত মাপ হইয়াছে সেই পর্যন্ত টেইপ টান করিয়া মাপিয়া মিটার স্কেল দ্বারা উহার দৈর্ঘ্য নির্ণয় করিয়া সেন্টিমিটারে প্রকাশ কর।

সেন্টিমিটারে প্রকাশিত দৈর্ঘ্যকে ফুটে প্রকাশিত দৈর্ঘ্য দ্বারা ভাগ কর। ভাগফল কত হয় দেখ। তোমার মাপ যত ভাল হইবে, ঐ ভাগফল 30·48 এর তত কাছাকাছি হইবে।

সাধারণ ছোট জিনিসের দৈর্ঘ্য মাপিতে হইলে আমরা স্কেলের ইঞ্চি বা সেন্টিমিটার দাগ ব্যবহার করি।

পরীক্ষা—একটি স্কেল (ফুট-রুল বা হাফমিটার স্কেল) দ্বারা একটি কাঁচদণ্ড বা নূতন পেন্সিলের দৈর্ঘ্য মাপিতে হইবে।

পেন্সিলটির একটি প্রান্ত A, স্কেলের একটি বড় দাগের সহিত—অর্থাৎ, যেখানে কোন সেন্টিমিটার (বা ইঞ্চির) দাগ আছে, উহার সহিত, মিলাইয়া বসাও; অপর প্রান্ত B কোন্ দাগের সহিত মিলিয়াছে দেখ।

E_2 অবস্থানে চোখ রাখিয়া দৈর্ঘ্য মাপিলে প্যারাল্যাক্স ভুল হইবে, E_1 অবস্থানে চোখ রাখিলে ঐ ভুল হইবে না।

উহা দেখিবার সময় চোখ এমন স্থানে রাখিতে হইবে যাহাতে দৃষ্টিপথের সরলরেখার সহিত স্কেল সমকোণে থাকে; যদি তাহা না থাকে তবে ভুল পড়া হইবার সম্ভাবনা থাকে। ঐ ভুলকে **প্যারাল্যাক্স ভুল (Parallax error)** বলে।*

প্যারাল্যাক্স ভুল যাহাতে না হয় সেইভাবে দণ্ডের B প্রান্তের বরাবর স্কেলের দাগ পড়িয়া লও। যদি B প্রান্ত সঠিক কোন ছোট দাগের সহিত—অর্থাৎ, মিলিমিটারের দাগের সহিত না মিলে তবে চোখের আন্দাজে দেখিতে হইবে উহা স্কেলের ছোট দুই দাগের মধ্যে কোন্ দাগের বেশী নিকটে আছে; এইভাবে B প্রান্ত যে দাগের বেশী নিকটে আছে বলিয়া মনে হইবে ঐ দাগই পড়িবে। যদি B প্রান্ত ছোট দুই দাগের মাঝামাঝি স্থানে আছে বলিয়া মনে হয় তবে B প্রান্ত যে ছোট দাগ অতিক্রম করিয়া গিয়াছে তাহার পর আরও ·5 মিলিমিটার বেশী ধরিয়া লইবে। (ইঞ্চির স্কেলে দুইটি ছোট দাগের মধ্যে দূরত্ব ·1 ইঞ্চি, সুতরাং ঐ স্কেল ব্যবহার করিলে দুই দাগের মধ্যস্থানের জন্য ·05 ইঞ্চি যোগ করিতে

* দেওয়াল ঘড়ির মিনিটের কাঁটা যখন ঠিক বারোটার দাগে থাকে, তখন ডান দিক হইতে ঘড়ির দিকে তাকাইলে মনে হইতে পারে যে মিনিটের কাঁটা বারোটার দাগে আসিতে আরও এক মিনিট বাকী আছে; আবার বাম দিক হইতে দেখিলে হয়ত মনে হইবে যে মিনিটের কাঁটা বারোটার দাগ ছাড়াইয়া আরও এক মিনিট সরিয়া গিয়াছে। ঠিক মাঝামাঝি স্থান হইতে সোজা দেখিলেই ঘড়ি ঠিকভাবে পড়া হয়। এক্ষেত্রেও অনুরূপ।

হইবে।) A প্রান্তের অবস্থানেও প্যারাল্যাক্স ভুল যাহাতে না হয় সেইভাবে স্কেলের পাঠ লইতে হইবে।

বিভিন্ন স্থানে AB দণ্ডটি পর পর বসাইয়া অনুরূপভাবে আরও 2 বার দৈর্ঘ্য মাপিয়া গড় বাহির কর।

প্রথমে সেন্টিমিটার স্কেলে মাপ লইয়া থাকিলে আবার ইঞ্চির স্কেলে একই দণ্ড একই প্রণালীতে মাপিয়া লও।

সেন্টিমিটারে প্রকাশিত দৈর্ঘ্যকে ইঞ্চিতে প্রকাশিত দৈর্ঘ্য দ্বারা ভাগ কর। ভাগফল 2·54 হইলে বুঝিবে তোমার মাপ ভাল হইয়াছে।

ক্ষুদ্র দৈর্ঘ্য মাপা (Measurement of Small Length)—যদি দৈর্ঘ্য এক মিলিমিটারের দশ ভাগের এক ভাগ পর্যন্ত মাপিতে হয় তবে **ভার্ণিয়ার (Vernier)** স্কেল ব্যবহার করিতে হইবে।

(ক) ভার্ণিয়ার স্কেল (Vernier Scale)

ফরাসী দেশীয় গাণিতিক প্যারা ভার্ণিয়ার অতি সহজ উপায়ে স্কেলের সাহায্যে দৈর্ঘ্যের ভগ্নাংশ মাপিবার ব্যবস্থা করিয়াছেন। তাঁহার নামানুসারে ঐরূপ স্কেলের নাম হইয়াছে ভার্ণিয়ার স্কেল বা সংক্ষেপে ভার্ণিয়ার।

M. S.—Main Scale বা মূল স্কেল V. S.—ভার্ণিয়ার স্কেল

ভার্ণিয়ার স্কেলের দশ ঘর মূল স্কেলের 9 ঘর বা 9 সে.মি. এর সমান

উপরের চিত্রে একটি স্কেল ও ভার্ণিয়ারের সম্পর্ক দেখানো হইল। একটি স্কেলের পাশে আর একটি স্কেলের টুকরা উহার গা ঘেঁষিয়া এদিকে সেদিকে সরানো যায়। ধর চিত্রের স্কেল সেন্টিমিটারে দাগ কাটা আছে, সেন্টিমিটারের ক্ষুদ্রতর অংশ দাগ কাটা নাই। তাহা হইলে ভার্ণিয়ার স্কেলের দৈর্ঘ্য লইতে হইবে 9 সে. মি.।

ঐ 9 সে. মি. লম্বা স্কেলের টুকরাখানিকে সমান 10 অংশে বিভক্ত করিয়া মূল স্কেলের পাশে রাখিলে উহা একটি ভার্ণিয়ার স্কেল হইল।

চিত্রে M. S. (Main Scale) মূল স্কেল, V. S. (Vernier Scale) ভার্ণিয়ার স্কেল।

ভার্ণিয়ার স্কেলের 0-দাগ—অর্থাৎ বাম দিকের শেষ প্রান্ত মূল স্কেলের 0-দাগের সহিত মিলাইয়া বসাইলে যেরূপ দেখাইবে তাহাই চিত্রে দেখানো হইয়াছে।

এখন ভার্ণিয়ারের 10টি স্কেল ঘর = মূল স্কেলের 9 স্কেল ঘর

1টি „ „ = „ „ $\frac{9}{10}$ „ „

= „ „ ·9 „ „

সুতরাং ভার্ণিয়ারের এক স্কেল ঘর মূল স্কেলের 1 ঘর অপেক্ষা $(1-\frac{9}{10})=\frac{1}{10}$ স্কেল ঘর বা ·1 স্কেল ঘর কম।

মূল স্কেল সেন্টিমিটারে থাকায় ভার্ণিয়ারের 1 স্কেল ঘর মূল স্কেলের 1 ঘর অপেক্ষা যতটা কম হইতেছে তাহার মান হইবে $\frac{1}{10}$ সে.মি. বা ·1 সে.মি.।

এই ক্ষেত্রে ·1 সে.মি.-কে **ভার্ণিয়ার স্থিরাঙ্ক** (**Vernier Constant**) বা ভার্ণিয়ারের ধ্রুবক * বলে।

পূর্বপৃষ্ঠার চিত্র হইতে বোঝা যাইবে যে ভার্ণিয়ারের 1 নং দাগ সে.মি. স্কেলের 1 নং দাগের $\frac{1}{10}$ সে.মি. পশ্চাতে আছে; 2 নং দাগ $\frac{2}{10}$ সে.মি. পশ্চাতে আছে, এইভাবে ভার্ণিয়ারের 10 নং দাগ $\frac{10}{10}$ সে.মি. বা 1 সে.মি. পশ্চাতে আছে।

এখন মনে কর একটি পেন্সিলের টুকরার দৈর্ঘ্য মাপিতে হইবে। উহার দুই প্রান্তীয় তল দৈর্ঘ্যের সহিত সমকোণে কাটা হইয়াছে। ঐ পেন্সিলের টুকরার এক প্রান্ত সে.মি. স্কেলের 0-দাগের সহিত মিলাইয়া বসানো হইল।

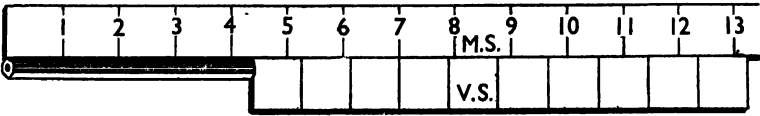
তখন চিত্রে যেরূপ দেখানো হইল পেন্সিলের টুকরার অন্য প্রান্ত যেন 4 সে.মি.-এর দাগ ছাড়াইয়া 4 এবং 5 দাগের মধ্যে কোন স্থানে আসিল। মূল স্কেলের সাহায্যে পেন্সিলের দৈর্ঘ্য 4 সে.মি. স্পষ্টই পড়া যায়, কিন্তু স্কেলে আর সূক্ষ্ম দাগ না থাকায় পেন্সিলের দৈর্ঘ্য 4 সে.মি. এর অতিরিক্ত কত হইয়াছে তাহা সঠিক বুঝা যায় না। সেইজন্য ভার্ণিয়ার স্কেলের 0-দাগ বা বাম প্রান্ত আনিয়া পেন্সিলের

---

* যদি মূল স্কেলের 1 স্কেল ঘর 1 ইঞ্চি হইত এবং ভার্ণিয়ারের 10 স্কেল ঘর 9 ইঞ্চির সমান হইত তবে ভার্ণিয়ার কন্‌স্ট্যান্ট হইত ·1 ইঞ্চি। সেইরূপ যদি মূল স্কেলের 1 স্কেল ঘর 1 মিলিমিটার হইত এবং ভার্ণিয়ারের 10 স্কেল ঘর 9 মিলিমিটারের সমান হইত তবে ভার্ণিয়ার কন্‌স্ট্যান্ট হইত ·1 মিলিমিটার, ইত্যাদি। সাধারণভাবে ভার্ণিয়ারের n ঘর, স্কেলের $n-1$ ঘরের সহিত মিলিলে

ভার্ণিয়ারের ধ্রুবক $=\frac{1}{n}\times$ মূল স্কেলের 1 ঘর।

ডান প্রান্তে সংলগ্ন করা গেল। তখন দেখা গেল যে, ভার্ণিয়ারের 3 নং দাগ মূল স্কেলের 7 সে.মি. দাগের সহিত মিলিয়া রহিয়াছে। সুতরাং ভার্ণিয়ারের 2 নং দাগ স্কেলের 6 সে.মি. দাগের $\frac{1}{10}$ সে.মি. ডান দিকে আছে এবং ভার্ণিয়ারের 1 নং দাগ 5 সে.মি. দাগের $\frac{2}{10}$ সে.মি. ডান দিকে আছে এবং ভার্ণিয়ারের 0-দাগ 4 সে.মি. দাগের $\frac{3}{10}$ সে.মি. ডান দিকে আছে। সুতরাং ঐ পেন্সিলের টুকরার দৈর্ঘ্য হইল 4·3 সে.মি.।

কিন্তু ভার্ণিয়ার কন্‌স্ট্যাণ্ট ·1 সে.মি. এবং ভার্ণিয়ার স্কেলের 3 নং দাগ মূল স্কেলের কোন এক দাগের সহিত মিলিয়াছে। ঐ মূল স্কেলের পাঠের সঙ্গে

পেন্সিলের দৈর্ঘ্য মূল স্কেল হইতে স্পষ্ট 4 সে.মি. পড়া যায়, কারণ ভার্ণিয়ার স্কেলের 0-দাগ মূল স্কেলের 4 সে.মি.-এর দাগ অতিক্রম করিয়া গিয়াছে। ভার্ণিয়ারের 8 নং দাগ মূল স্কেলের একটি দাগের সহিত ঠিক মত মিলিয়াছে। ভার্ণিয়ার কন্‌স্ট্যাণ্ট ·1 সে.মি.। ∴ মোট দৈর্ঘ্য $4+8\times{\cdot}1=4{\cdot}8$ সে.মি.।

$3\times{\cdot}1={\cdot}3$ সে.মি. যোগ করিয়া আমরা প্রকৃত দৈর্ঘ্য পাইয়াছি। অথচ মূল স্কেলে সে.মি.-এর দশমিক অংশ দাগ কাটা নাই। ইহাই ভার্ণিয়ার স্কেল ব্যবহারের সুবিধা।

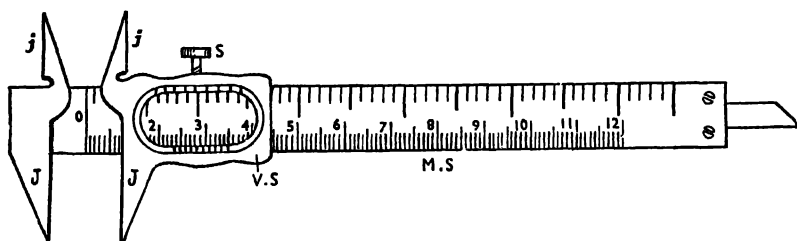
সাধারণত সেন্টিমিটার স্কেলের প্রত্যেক সেন্টিমিটারের দাগকে দশ ভাগ করিয়া মিলিমিটারের দাগ কাটা থাকে। কিন্তু মিলিমিটারের দাগকে আর দশ ভাগে বিভক্ত করিয়া স্কেলে দাগ কাটা চলে না। কিন্তু ঐ স্কেলের সঙ্গে উপযুক্ত ভার্ণিয়ার ব্যবহার করিয়া মিলিমিটারের দশ ভাগের এক ভাগ পর্যন্ত দৈর্ঘ্য সহজেই মাপা যায়।

খুব সূক্ষ্ম মাপের জন্য মিলিমিটারের দাগকে দুই সমান অংশে ভাগ যুক্ত স্কেল ব্যবহার করা হয় এবং উহার সঙ্গে এমন ভার্ণিয়ার থাকে যাহার 50 ঘর মূল স্কেলের 49 ঘরের সহিত সমান হয়। সুতরাং এই ক্ষেত্রে ভার্ণিয়ার কন্‌স্ট্যাণ্ট হয় $\frac{1}{2}$ মি. মিটারের $\frac{1}{50}$ অংশ বা ·01 মি. মি = ·001 সে.মি.।

সূক্ষ্মভাবে কোণ মাপিবার জন্য বাঁকানো বৃত্তাকার স্কেলে ডিগ্রি দাগ কাটা থাকে এবং বাঁকানো ভার্ণিয়ার স্কেল ব্যবহার করা যায়।

(খ) স্লাইড ক্যালিপার্স বা ভার্ণিয়ার ক্যালিপার্স

(Slide Callipers or Vernier Callipers)

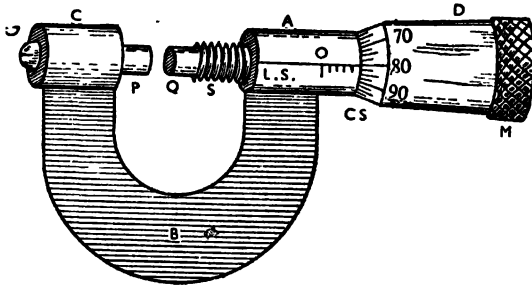
নিম্নে ইহার একটি চিত্র দেওয়া হইল। এই যন্ত্রে একখানি স্টীলের স্কেলের বাম প্রান্তে একটি স্থির জ (Jaw) J j থাকে ; আর স্কেলের উপর একটি চলনশীল জ JjS থাকে। চলমান জ-র সঙ্গে একটি ভার্ণিয়ার স্কেল V.S দেওয়া থাকে। চলনশীল জ-র সঙ্গে যুক্ত দুইটি ভার্ণিয়ার দুইটি স্কেলের গা ঘেঁষিয়া চলে। যন্ত্রে ঐ দুই জ Jj একত্র থাকিলে ভার্ণিয়ারের 0-দাগ বা বাম প্রান্ত স্কেলের 0-দাগের সহিত মিলিয়া থাকে।

স্লাইড ক্যালিপার্স
Jj-স্থির জ ; Jj S v.s-চলনশীল জ এবং ভার্ণিয়ার স্কেল
M.S মূল স্কেল
S-ভার্ণিয়ার এবং চলনশীল জ-কে স্কেলের সঙ্গে আঁটিয়া রাখিবার জন্য স্ক্রু

যে জিনিসের দৈর্ঘ্য স্লাইড ক্যালিপার্স দ্বারা মাপিতে হইবে উহাকে ক্যালিপার্সের দুই জ JJ-র মধ্যে এমনভাবে বসাও যেন ঐ দৈর্ঘ্য স্কেলের সমান্তরাল হয়। এখন মূল স্কেলের যে দাগের ডান দিকে ভার্ণিয়ারের 0-দাগ বা বাম প্রান্ত আছে, মূল স্কেলের সেই দাগকে মূল স্কেলের পাঠ গণ্য কর এবং ভার্ণিয়ারের যত নম্বর দাগ মূল স্কেলের কোন দাগের সহিত মিলিয়াছে তত সংখ্যা দ্বারা ভার্ণিয়ার কন্স্ট্যাণ্টকে গুণ করিয়া ঐ গুণফল মূল স্কেলের পাঠ-এর সঙ্গে যোগ কর। ঐ যোগফলই ঈপ্সিত দৈর্ঘ্য হইবে।

স্লাইড ক্যালিপার্স যন্ত্রে যন্ত্রগত ভুল কদাচিৎ থাকে। ঐ ভুল থাকিলেও কি করিয়া শুদ্ধ মাপ লওয়া যায় তাহা Practical class-এ শিখিবে।

(গ) স্ক্রু-গেজ (Screw-gauge)

একটি স্ক্রু-গেজ যন্ত্র পরের পৃষ্ঠার চিত্রে দেখানো হইল। ইহার সাহায্যে এক মিলিমিটারের $\frac{1}{10}$ অংশ পর্যন্ত দৈর্ঘ্য মাপা যায়। খুব সরু তার প্রভৃতির ব্যাস এই যন্ত্র দ্বারা মাপা হয়।

ঐ যন্ত্রের প্রধান অংশ QS একটি স্ক্রু; ঐ স্ক্রুর বাম প্রান্ত Q ইহার ডান প্রান্ত M নামক Milled head-এর সহিত সংযুক্ত। M-এর উপর আঙুল চাপিয়া ঐ স্ক্রু ঘুরাইতে হয়। স্ক্রুটি একটি সিলিণ্ডার (A) আকৃতির দণ্ডের ভিতর দিয়া চলে। ঐ দণ্ডের ভিতরের দিকে স্ক্রুর খাঁজ কাটা আছে। ঐ দণ্ডের উপর একটি স্কেল (L S) দাগ কাটা আছে এবং দণ্ডকে ঘিরিয়া একটি ড্রাম বা চোঙ D আছে। D ড্রামটির ডান প্রান্ত M-এর সহিত সংযুক্ত। ঐ ড্রামের বাম প্রান্ত ক্রমশ সরু হইয়া A দণ্ডের গায়ে লাগিয়াছে আর ঐ কাত করা অংশে একটি বৃত্তাকার স্কেল কাটা আছে। ঐ বৃত্তাকার স্কেলে 100 সমান সমান ভাগ আছে।

স্ক্রু-গেজ

চিত্রে L S Linear Scale এবং C S Circular Scale নির্দেশ
চিত্রে O, linear scale-এর 0-দাগ।

A দণ্ডটি B বাঁকানো অংশের সাহায্যে C অংশের সহিত স্থায়ীভাবে সংযুক্ত থাকে। C দণ্ড হইতে P একটি অংশ স্ক্রুর Q অংশের বাম দিকে থাকে উহাকে স্টাড (stud) বলে।

কাজ করিবার সময় B অংশকে বাম হাতে ধরিয়া ডান হাতে M অংশ ঘুরাইতে হয়। M-কে ঘুরাইলে স্ক্রু বাম দিকে চলে এবং নির্ভুল স্ক্রু-গেজে, যখন Q আসিয়া P-কে স্পর্শ করে তখন circular scale-এর 0-দাগ linear scale-এর 0-দাগের সহিত মিলিয়া এক রেখাস্থ হয় (চিত্রে যেমন circular scale-এর 80 নম্বর দাগটি linear scale-এর উপর দিয়া গিয়াছে সেইরূপ 0-দাগটি ঐরূপ এক রেখাস্থ হয়।) circular scale-এর বাম প্রান্তের শেষ বৃত্তাকার রেখা তখন linear scale-এর 0-দাগের উপর দিয়া যায়।

স্ক্রুর milled head M একবার সম্পূর্ণ ঘুরাইলে স্ক্রু যতটা বাম দিকে অগ্রসর হয় তাহার মানকে pitch বলে। সাধারণত ঐ pitch 1 মি. মি. হয় (কোন কোন যন্ত্রে ·5 মি. মি.ও হয়।) circular scale-এ 100 নং দাগ আছে, সুতরাং

circular scale-এর এক দাগ পরিমাণ ড্রাম ঘুরাইলে স্ক্রু পিচের $\frac{1}{100}$ অংশ অগ্রসর হইবে। সুতরাং pitch 1 মি. মি. হইলে উহা দ্বারা সবচেয়ে কম যত দৈর্ঘ্য মাপা চলিবে তাহার মান ·01 মি. মি. হইবে। শুদ্ধভাবে ইহা অপেক্ষা অল্প দৈর্ঘ্য এই যন্ত্র দ্বারা মাপা যায় না বলিয়া ঐ ক্ষুদ্রতম মাপকে Least Count বলে।

এই যন্ত্র দ্বারা কাজ করিতে হইলে প্রথমে pitch এবং least count ঠিক করিয়া লইতে হয়। পরে স্টাড P এবং স্ক্রুর প্রান্ত Q-র মধ্যে কোন তার আটকাইয়া linear scale এবং circular scale-এর পাঠ পৃথকভাবে লইতে হয়।

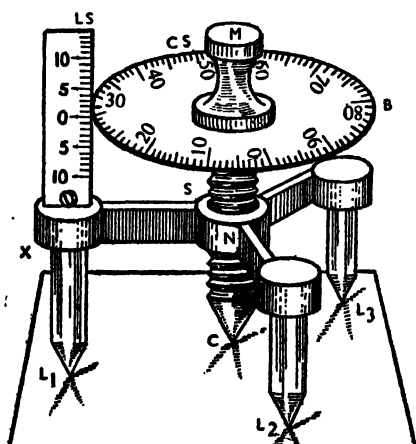
যদি linear scale-এর পাঠ 2 মি. মি. এবং circular scale-এর পাঠ 57 হয়, তবে তারের ব্যাস হইবে 2 মি. মি. + 57 × ·01 মি. মি. = 2·57 মি. মি.।

অর্থাৎ, circular scale-এর পাঠকে least count দ্বারা গুণ করিয়া উহা linear scale-এর পাঠের সহিত যোগ করিতে হইবে।

কোন তারের ব্যাস নির্ণয় করিতে হইলে, তারের একই স্থানে দুইটি পরস্পর সমকোণী ব্যাসের মাপ ঐ ভাবে লইয়া গড় নির্ণয় করিতে হয়। ভাল ফলের জন্য তারের পাঁচ সাত স্থানে ঐরূপ করিতে হয়।

এই যন্ত্রের ও যন্ত্রগত ভুল থাকিলে তাহা শোধরাইবার ব্যবস্থা করিতে হয়।

(ঘ) স্ফেরোমিটার (Spherometer)

নিম্নে স্ফেরোমিটার যন্ত্রের চিত্র দেওয়া হইল। উহা মূলত sphere বা গোলকের পৃষ্ঠদেশের উপর বসাইয়া ঐ গোলকের ব্যাসার্ধ নির্ণয় করিবার কাজে ব্যবহার করা হয়। কিন্তু ইহাকে অন্য কাজেও ব্যবহার করা হইয়া থাকে; পুলিঙ্গারের যন্ত্র দ্বারা দৈর্ঘ্য প্রসারণের গুণাঙ্ক নির্ণয় করিবার সময় ইহা ব্যবহার করা হয় এবং পাতলা কোন বস্তুর বেধ মাপিবার জন্যও ইহা ব্যবহার করা যাইতে পারে।

স্ফেরোমিটার

এই যন্ত্রে MC একটি স্ক্রু, N nut-এর মধ্য দিয়া চালানো যায়। N অংশটি L_1, L_2 এবং L_3 এই তিনটি শক্ত পায়ার সহিত আটকানো। ঐ তিনটি পায়ার প্রত্যেকটির নীচের দিক সূচল হইয়া সূক্ষ্ম বিন্দুতে

পরিণত হইয়াছে এবং ঐ তিনটি বিন্দু একই সমতলে অবস্থান করে। পায়া তিনটি ঐ সমতলের সহিত সর্বদা লম্ব হয়। একটি পায়ার সহিত (L S) Linear Scale এবং MC স্ক্রুর সহিত (C S) Circular Scale সংযুক্ত থাকে।

XY কাঁচের প্লেটের উপর স্ফেরোমিটারটি দাঁড় করাইয়া স্ক্রুর উপরের প্রান্ত M-কে ঘুরাইয়া স্ক্রুর নীচের প্রান্ত C-কে কাঁচের প্লেট স্পর্শ করাইয়া দেওয়া হয়।

ঐ সময় linear scale এবং circular scale-এর পাঠ লইয়া রাখিলে, ইহার পর কাঁচের প্লেটের উপর ছোট এক টুকরা কাঁচ বা অনুরূপ কিছু রাখিয়া যখন আবার স্ক্রুর শেষ প্রান্ত C উহাতে স্পর্শ করানো হইবে, তখন স্ক্রুর C বিন্দু আগের স্থানে আসিতে পারিবে না, এবং ফলে circular scale-এর অবস্থান আগের তুলনায় উপরে থাকিবে। উহা দ্বিতীয়বারে যত উপরে থাকিবে তাহাই ছোট কাঁচের টুকরার বেধ হইবে।

স্ক্রু-গেজ যন্ত্রের ন্যায় এই যন্ত্রেরও pitch এবং least count নির্ণয় করিয়া লইয়া কাজ আরম্ভ করিতে হইবে। যদি circular scale একবার ঘুরাইলে স্ক্রু 1 মি. মি. নীচের দিকে নামিয়া যায় তবে pitch হইবে 1 মি. মি.; circular scale-এ 100 ভাগ থাকে; সুতরাং least count হইবে ·01 মি. মি.।

কাজের সুবিধার জন্য linear scale-এর সকলের নীচের 10 নং দাগকে মনে মনে 0 ধরিয়া 0-দাগকে 10 মি. মি. এবং 5-কে 15 মি. মি ইত্যাদি ধরিয়া লইলে ভাল হয়।

নীচের প্লেটকে base plate বলা হয়। মনে কর স্ক্রুর অগ্রভাগ C বিন্দু base plate-কে স্পর্শ করিল। (উহা স্পর্শ করিল কি না তাহা কাঁচে স্ক্রুর প্রতিবিম্ব দেখিয়া সহজে স্থির করা যায়—স্ক্রুর সূক্ষ্মাগ্র যদি উহার প্রতিবিম্বের সূক্ষ্মাগ্রের সহিত মিলিত দেখা যায় তবেই C বিন্দু কাঁচ স্পর্শ করিয়াছে বুঝিতে হইবে। কিন্তু চোখ base plate-এর লেভেলে রাখিয়া ঐ স্পর্শ ঘটিল কি না দেখিতে হয়।)

ঐ অবস্থায় linear scale-এর পাঠ হইল 10 এবং circular scale-এর পাঠ হইল 30. তাহা হইলে মোট পাঠ হইল $(10+30\times{\cdot}1)$ মি. মি. $=10{\cdot}3$ মি. মি.। circular scale-এর অবস্থান linear scale-এর যে দাগ অতিক্রম করিয়াছে তাহাই linear scale-এর পাঠ হইবে।

ইহার পর C স্ক্রুর নীচে একখানা প্রায় দেড় বা দুই মি. মি. বেধ বিশিষ্ট এক টুকরা কাঁচ রাখ। এখন স্ক্রু তুলিয়া একটানা নীচের দিকে ঘুরাইয়া আনিয়া C বিন্দুকে ঐ কাঁচখণ্ডের সহিত স্পর্শ করাও। আবার linear এবং circular scale-এর পাঠ লও। মনে কর linear scale-এর পাঠ 11 মি. মি. এবং

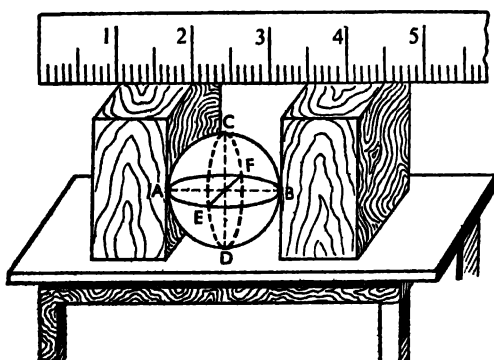
circular scale-এর পাঠ 89 হইল। তাহা হইলে কাঁচখণ্ডের উপরের পাঠ হইল 11·89 মি. মি.।

$\therefore$ কাঁচখণ্ডের বেধ = দ্বিতীয় পাঠ − প্রথম পাঠ
= (11·89 − 10·3) মি. মি.
= 1·59 মি. মি.

এস্থলে এক পাঠ হইতে অন্য পাঠ বিয়োগ করিয়া নির্ণেয় দৈর্ঘ্য মাপা হইতেছে বলিয়া যন্ত্রগত ভুল পৃথকভাবে হিসাব করিবার আবশ্যক নাই।

প্রকৃতপক্ষে base plate-এর পাঠ 10 মি. মি. (অর্থাৎ স্কেলের 0-দাগ) না হইয়া 10·3 মি. মি. হওয়ায় ·3 মি. মি. এস্থলে যন্ত্রগত ভুল; কিন্তু ইহা পৃথকভাবে হিসাব করা অনাবশ্যক।

কাঠের ব্লক ও স্কেলের সাহায্যে সহজে একটি গোলকের ব্যাস নির্ণয় করা:

পরীক্ষা—একটি শক্ত রবারের বা কাঠের বল এবং দুইখানি চৌপলাকৃতি কাঠের ব্লক লও। বলটি টেবিলে রাখিলে উহার সর্বাপেক্ষা উচ্চ বিন্দু টেবিল হইতে যত উচ্চে থাকে, কাঠের ব্লকগুলির উচ্চতা উহার বেশী হওয়া আবশ্যক।

কাঠের ব্লক ও স্কেলের সাহায্যে গোলকের ব্যাস নির্ণয়

একখানা মিটার স্কেল বা হাফ মিটার স্কেল খাড়াভাবে ধরিয়া একটি সেণ্টিমিটারের দাগের সহিত একটা চৌপলের একটি শির মিলাইয়া বসাও। এখন দুই চৌপলের মাঝখানে বলটি রাখিয়া অপর চৌপলটির একটি শির প্রথম চৌপলের নীচের যে শির স্কেলের দাগের বরাবর আছে, তাহার সহিত সমান্তরাল করিয়া এমনভাবে বসাও যে, চৌপল দুইটি যেন বলটিকে পরস্পর দুইটি বিপরীত বিন্দুতে স্পর্শ করিয়া থাকে। ঐরূপ ব্যবস্থায় দুই চৌপলের দুইটি নিকটতম সমতল পরস্পর সমান্তরাল হইবে এবং ঐ দুই সমতল গোলকটির একটি ব্যাসের দুই প্রান্তবিন্দু স্পর্শ করিয়া থাকিবে; অর্থাৎ, উহাদের মধ্যের ফাঁকই গোলকটির ব্যাসের সমান হইবে। চিত্র দেখ।

সেণ্টিমিটার স্কেল দেখিয়া চৌপলগুলির ঐ দুই সমতলের অবস্থান পড়িয়া লও। যে দুই দৈর্ঘ্য পড়িবে উহাদের পার্থক্যই গোলকের ব্যাস হইবে।

প্রকৃতপক্ষে স্লাইড ক্যালিপার্স (Slide Callipers) দ্বারা গোলকের ব্যাস নির্ণয়ের মূলনীতিও অনুরূপ।

1.21. আয়তন মাপিবার প্রণালী (Measurement of Volume):

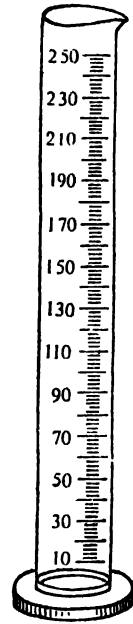
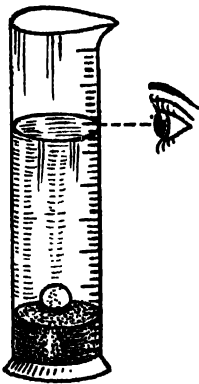
কোন চৌপলাকৃতি বস্তুর আয়তন নির্ণয় করিতে হইলে উহার দৈর্ঘ্য, প্রস্থ এবং উচ্চতা, অর্থাৎ তিন দিকের দৈর্ঘ্য মাপিলেই চলিবে; কারণ চৌপলাকৃতি বস্তুর আয়তন = দৈর্ঘ্য × প্রস্থ × উচ্চতা।

কিন্তু বস্তু চৌপলাকৃতি না হইলে ইহার আয়তন মাপা খুব সহজ নহে। বস্তু জ্যামিতিক আকৃতিবিশিষ্ট হইলে নানাদিকের মাপ লইয়া আয়তন মাপা যায়, কিন্তু কোন কঠিন বস্তুর ছোট টুকরা যে-কোন আকৃতিবিশিষ্ট হইলে অন্য উপায় অবলম্বন করিতে হয়।

ইহার জন্য একটি **মেজারিং সিলিণ্ডার (measuring cylinder)** প্রয়োজন। পরীক্ষাগারে কাঁচের মেজারিং সিলিণ্ডার পাওয়া যায়, উহার গায়ে সাধারণত ঘন-সেণ্টিমিটারের দাগ কাটা থাকে।

মেজারিং সিলিণ্ডার

পরীক্ষা—একটি পিতলের বল লও। ইহার আয়তন মাপিতে হইবে।

একটি মেজারিং সিলিণ্ডারের নীচে কিছু বালি দিয়া লও। ইহার উপর জল দিয়া জলের উচ্চতা একটি বড় দাগের সমান করিয়া লও।

বলের আয়তন নির্ণয়

ঐ দাগ কত ঘনসেণ্টিমিটার তাহা পড়িয়া রাখ। এখন ঐ বলটি সিলিণ্ডারের মধ্যে ছাড়িয়া দাও। বলটি জল সরাইয়া উহার নিজের স্থান করিয়া লইবে, সুতরাং জল উপরে উঠিয়া অন্য এক দাগের সমানে বা নিকটে আসিবে। ঐ দাগ কত ঘনসেণ্টিমিটার তাহা পড়িয়া লও, এই পাঠ (reading) হইতে আগের পাঠ বাদ দিলে বলের আয়তন পাওয়া যাইবে।

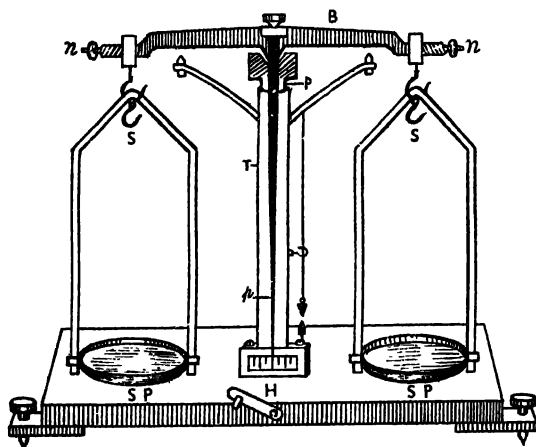
এখন সূত্রের সাহায্যে হিসাব করিয়া বলটির ব্যাস নির্ণয় কর। মনে রাখ বর্তুলাকৃতি (spherical) বস্তুর আয়তন = $\frac{4}{3}\pi r^3$ এখানে $\pi = \frac{22}{7}$ একটি ধ্রুবক; r = বলটির ব্যাসার্ধ।

সুতরাং বলটির ব্যাস মাপিয়া ব্যাসার্ধ নির্ণয় কর ; পরে ঐ সূত্র অনুযায়ী হিসাব করিয়া বলটির আয়তন বাহির কর।

ভালরূপে উভয় প্রকার মাপ লইলে উভয় ফল খুব কাছাকাছি হইবে।

যে কোন উপযুক্ত সাইজের **অনির্দিষ্ট আকৃতির** বস্তুর আয়তনও এই প্রণালীতে নির্ণয় করা যায়।

1.22. ভরের পরিমাপ বা ভর মাপিবার প্রণালী :

আগেই বলা হইয়াছে যে আমরা সাধারণ কথায় যাহাকে ওজন বলি, প্রকৃতপক্ষে উহা ভর বা পদার্থের পরিমাণ, আর ওজন ঐ পরিমাণ পদার্থকে পৃথিবী যতটা জোরে আকর্ষণ করে তাহার মান।

সাধারণ তুলা

B-বীম ; *nn*-নাট
T-পিতলের নল ; P-পিতলের স্তম্ভ
p-সূচক বা শলাকা ; SP-তুলাপাত্র
H ইহা T-র মধ্য দিয়া P-কে উঠানামা করাইবার জন্য হাতল
S-স্টীরাপ

সাধারণ তুলাযন্ত্র (Common balance) দ্বারা আমরা বস্তুর ভর মাপিয়া থাকি—ওজন পাই না।

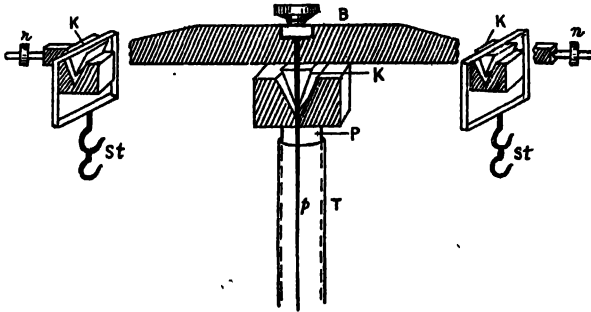
পরীক্ষাগারের সাধারণ তুলাযন্ত্রের একটি চিত্র উপরে এবং বর্ণনা নীচে দেওয়া হইল—

চিত্রে প্রদর্শিত তুলাযন্ত্রের অংশগুলি এই—

(1) তুলাদণ্ড বা বীম (Beam) B—ইহা একটি অনুভূমিক (horizontal) ধাতব দণ্ড। ইহার নীচের দিকের মধ্যবিন্দু একটি তিনশিরা এগেট পাথরের টুকরার

একটা চেপ্‌টা দিকের সহিত সংযুক্ত। ঐ তিনশিরা এগেট পাথরের টুকরার নীচের শিরটি একখানা অনুরূপ প্রিজম আকৃতির খাঁজের মধ্যে স্থাপিত।

ঐ প্রিজম আকৃতির খাঁজ একটা উল্লম্ব (vertical) দণ্ডের উপর অবস্থিত। ঐ উল্লম্ব দণ্ডটি একটি উল্লম্ব চোঙের ভিতর দিয়া উঠানামা করিতে পারে এবং হাতল ঘুরাইয়া ইহাকে উঠাইতে বা নামাইতে পারা যায়।

তুলাদণ্ডের ঠিক মধ্যস্থানে উপর দিকে স্ক্রুর সাহায্যে একটি ক্রমশ সূচল শলাকা আটকানো আছে। ঐ শলাকাটি উপর হইতে নীচের দিকে লম্বমান

তুলার উপরের অংশের গঠনের বৈশিষ্ট্য

K-প্রিজম আকৃতির ক্ষুরধার অংশ (Knife edge) এবং উহা প্রদর্শিত তিনটি স্থানে যে ভাবে ঐ আকৃতির খাঁজে বসানো থাকে। P-স্তম্ভ ; T-নল ; p-শলাকা B-র সহিত সংযুক্ত ; st-স্টীরাপ

এবং ইহার সূচল প্রান্ত নীচের একটি স্কেলের গা ঘেঁষিয়া ডান-বাঁয়ে সরিতে পারে। তুলাদণ্ডের দুই প্রান্তে নীচের দিকে একটি করিয়া খাঁজ কাটা আছে ; ঐ খাঁজের উপর একটি করিয়া স্টীরাপ রক্ষিত থাকে। প্রত্যেক স্টীরাপে ত্রিভুজাকৃতি এগেট পাথরের ক্ষুরধার অংশ দণ্ডের প্রান্তস্থ খাঁজের মধ্যে বসানো থাকে এবং ঐ ত্রিভুজাকৃতি এগেট পাথরের টুকরার সহিত নীচের দিকে তুলাপাত্র ঝোলাইয়া রাখিবার ব্যবস্থা থাকে।

তুলাপাত্র (Scale pan)—দুইটি সমান ওজনের তুলাপাত্র এক একটি বাঁকানো ধাতব দণ্ডের সাহায্যে স্টীরাপ হইতে ঝোলাইয়া রাখা হয়।

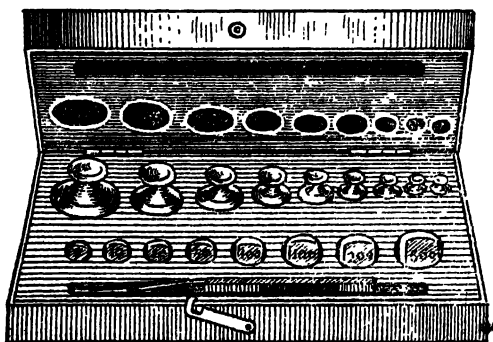
একটা কাঠের চারকোণা বড় বেদীর (base) উপর তুলার উল্লম্ব (vertical) থাম বসানো থাকে। ঐ কাঠের বেদী আবার তিনটি লেভেলিং স্ক্রুর উপর অবস্থিত। ঐ স্ক্রুগুলি ঘুরাইয়া তুলাদণ্ডের-থামটিকে উল্লম্ব করিয়া লইতে হয়। থামের পাশে একটি ওলন দড়ি (plumb line) ঝোলানো থাকে, ইহার অবস্থান দেখিয়াই থামটিকে সঠিক উল্লম্ব অবস্থায় আনা যায়।

ওজন করিবার কালে বায়ু-প্রবাহের দ্বারা ব্যাঘাত সৃষ্টি না হইবার জন্য তুলা-যন্ত্রটি একটি কাঁচের বাক্সের মধ্যে আবদ্ধ থাকে। ঐ কাঁচের বাক্সের সম্মুখের দিকের কাঁচখানা ইচ্ছামত তুলিয়া রাখা যায় অথবা নামাইয়া রাখা যায়।

এইরূপ তুলার সাহায্যে ওজন করিতে হইলে প্রথমে ওলন দড়ির অবস্থান ঠিক করিয়া লইতে হইবে। ইহার পর H হাতলটি ঘুরাইয়া উল্লম্ব থামটি উপরে তুলিতে হইবে। তখন তুলাদণ্ড বা বীম দোল খাইতে আরম্ভ করিবে এবং সঙ্গে সঙ্গে শলাকাটির অগ্রভাগ স্কেলের উপর ডান হইতে বাম এবং বাম হইতে ডান দিকে নড়িতে থাকিবে। যদি দুই দিকে সমান সমান ঘর পর্যন্ত শলাকাটি দোলে, অথবা দোলন শেষ হইলে শলাকাটি স্কেলের ঠিক মধ্য রেখায় থাকে তবে ঐ তুলা ব্যবহারোপযোগী অবস্থায় আছে বুঝিতে হইবে। যদি দুই দিকে সমান ঘর পর্যন্ত না দোলে, তবে তুলাদণ্ডের দুই প্রান্তের যে-কোন একটি বা দুইটি নাট্ (nut) *n*, *n* আবশ্যকমত কিছু কিছু ঘুরাইয়া শলাকা যাহাতে দুই দিকে সমানভাবে দোলে তাহার ব্যবস্থা করিতে হইবে।

ঐ স্ক্রুতে হাত দিবার আগে H হাতল ঘুরাইয়া থামটি নামাইয়া তুলাদণ্ড স্থির অবস্থায় আনিয়া লইতে হইবে।

তুলাপাত্রে বস্তু অথবা প্রমাণ মানের ওজন চাপাইবার কালেও থামটি নামাইয়া লইতে হইবে। কোন বস্তু ওজন করিবার সময় প্রমাণ ওজন ডান দিকের তুলাপাত্রে এবং বস্তুটি বাম দিকের তুলাপাত্রে বসাইতে হয়।

ওজনের বাক্স (Weight box)—ওজনের বাক্সের মধ্যে বিভিন্ন মাপের প্রমাণ ওজন (ভর) দেওয়া থাকে। ঐ প্রমাণ ভরগুলি 100 গ্র্যাম, 50 গ্র্যাম, 20 গ্র্যাম, 10 গ্র্যাম, 5 গ্র্যাম, 2 গ্র্যাম, 1 গ্র্যাম, 500 মিলিগ্র্যাম, 200 মিলিগ্র্যাম, 100 মিলিগ্র্যাম, 50 মিলিগ্র্যাম, 20 মিলিগ্র্যাম এবং 10 মিলিগ্র্যাম। বিভিন্ন নির্দিষ্ট খোপে ঐ ওজনগুলি বসানো থাকে। সঙ্গে একটি ফরসেপস বা চিমটা দেওয়া থাকে। ওজনগুলি ঐ ফরসেপসের সাহায্যে ডান পাশের তুলাপাত্রে অথবা ওজনের বাক্সে নিজ নিজ খোপে রাখিতে হয়।

ওজনের বাক্স

এই প্রকার তুলা দ্বারা সাধারণত 200 গ্র্যামের অধিক ভর মাপা হয় না। খুব সূক্ষ্মভাবে খুব অল্প পরিমাণ ভর মাপিবার জন্য আরও বিশেষভাবে নির্মিত উন্নত ধরনের তুলা ব্যবহার করা হয়।

পরীক্ষা—একটি কাঁচের বা পাথরের টুকরা (অথবা অন্য কোন কঠিন পদার্থ) ওজন করিতে হইবে।

ওলন দড়ির অবস্থান দেখিয়া আবশ্যক হইলে তুলার বেদীর (base-এর) নিম্নস্থ লেভেলিং স্ক্রুগুলি ঘুরাইয়া তুলার স্তম্ভ উল্লম্ব অবস্থায় আনিতে হইবে। ইহার পর হাতল ঘুরাইয়া স্তম্ভটি উপরে তোল, দেখ তুলাপাত্র দুইটি বিনা বাধায় সাধারণভাবে দুলিতেছে কি না। যদি না দোলে, তবে যে ক্ষুরধার শিরের উপর তুলার দণ্ড দোল খায় অথবা যে স্টারাপ আশ্রয় করিয়া তুলাপাত্রগুলি ঝুলিতেছে, ঐগুলি যথাস্থানে আছে কি না পরীক্ষা করিতে হইবে, না থাকিলে যথাস্থানে ঠিক করিয়া বসাইতে হইবে। তুলাদণ্ডে সংলগ্ন সূচল শলাকা স্কেলের সম্মুখের দুই দিকে সমানভাবে দোলে কি না পরীক্ষা করিতে হইবে। যদি ঐরূপ না দোলে, তবে নাট্ (nut)গুলি ঘুরাইয়া ঐরূপভাবে দুলিবার ব্যবস্থা করিতে হইবে। মনে রাখিবে **থামটি না নামাইয়া তুলার কোন অংশে হাত দিতে নাই।**

যে কঠিন বস্তুটিকে ওজন করিতে হইবে, উহাকে বাম দিকের পাল্লার মধ্যস্থলে বসাও, ওজনের বাক্স হইতে অনুমান করিয়া (চিম্‌টার সাহায্যে) এমন একটি প্রমাণ ভর তুলিয়া ডান দিকের পাল্লার মধ্যস্থলে বসাও যেন উহা যে বস্তুর ভর মাপিতে হইবে তাহা অপেক্ষা বেশী ভরের হয়। অতঃপর ঐ ভরটি নামাইয়া রাখিয়া পর পর অপেক্ষাকৃত অল্প ভরগুলি বসাইয়া দেখ কখন ঐ ভর বস্তুর ভর অপেক্ষা কম হয়। (প্রমাণ ভরগুলি তুলাপাত্রে বসাইবার বা নামাইবার কালে হাতল ঘুরাইয়া প্রত্যেক বার থামকে আগে নামাইয়া লইতে হইবে।) ইহার পর আবার ঐ ভরের সঙ্গে ঐ ভর অপেক্ষা ক্রমশ ছোট ভরগুলি পর পর বসাইয়া দেখিয়া যাইতে থাক। যতক্ষণ না শলাকা স্কেলের উপর দুই দিকে সমানভাবে দোলে (অথবা কোন দিকেই না দোলে) ততক্ষণ উপরোক্ত উপায়ে বিভিন্ন ভরগুলি চাপাইতে হইবে।

দুই দিকের ওজন ঠিক হইয়া গেলে শলাকা স্কেলের দুই দিকে সমান ঘর পর্যন্ত সরিবে, অথবা একটু সময় অপেক্ষা করিলে স্কেলের ঠিক মধ্যস্থানে স্থির হইয়া দাঁড়াইবে। তখন থামটি নামাইয়া ক্রমশ বড় হইতে ছোট ভরগুলি ওজনের বাক্সে যথাস্থানে রাখিবে এবং সঙ্গে সঙ্গে প্রত্যেকটি ভরের মান লিখিয়া লইবে। এই সকল গুলি যোগ করিলে বস্তুর ভর পাওয়া যাইবে।

1.23. ওজন মাপিবার প্রণালী :

পূর্বেই বলা হইয়াছে যে, আমরা সাধারণ কথায় যাহাকে কোন বস্তুর ওজন বলি, তাহা প্রকৃতপক্ষে উহার ভর, আর ওজন বলিলে ঐ বস্তুর ভরকে পৃথিবী যত জোরে আকর্ষণ করে সেই **জোর বা বল** (**force**) বুঝায়।

দেখা গিয়াছে যে নির্দিষ্ট ভরের কোন বস্তুকে পৃথিবীর বিভিন্ন স্থানে লইয়া গেলে পৃথিবী উহাকে সর্বত্র সমান বলে আকর্ষণ করে না। বিশেষত কোন বস্তুকে পৃথিবীর বিষুবরেখার নিকটস্থ স্থান হইতে উত্তর বা দক্ষিণ মেরুর দিকে লইয়া গেলে উহাকে পৃথিবী ক্রমশ অধিক বলে আকর্ষণ করিয়া থাকে ; অর্থাৎ একই বস্তুর ওজন পৃথিবীর বিষুব-অঞ্চলে যত হইবে তাহার তুলনায় মেরু-অঞ্চলে একটু বেশী হইবে।

এখন এই পার্থক্য কিভাবে দেখানো যাইতে পারে ? একটি সাধারণ তুলাযন্ত্রের বাম দিকের তুলাপাত্রে একটি বস্তু এবং ডান দিকের তুলাপাত্রে উহার সমান প্রমাণ ভর বা বাটখারা চাপাইয়া মাপ ঠিক করিয়া লইয়া ঐ তুলাযন্ত্র যদি ঐরূপ অবস্থায়ই বিষুব-অঞ্চল হইতে মেরু-অঞ্চলে লইয়া যাওয়া যায় তবে কি হইবে ? বস্তুটির ওজন বাড়িয়াছে বলিয়া বাম দিকের তুলাপাত্র কি নীচের দিকে নামিয়া যাইবে ? না ; কারণ, ডান দিকের সমান ভরের বাটখারার ওজনও তো ঠিক সেই পরিমাণ বাড়িয়া যাইবে। কাজেই তুলা ঠিকই থাকিবে ; অর্থাৎ ওজন যে বাড়িল তাহা আমরা সাধারণ তুলা দ্বারা বুঝিতে পারিব না।

অর্থাৎ সাধারণ তুলা প্রকৃতপক্ষে আমাদিগকে বস্তুর ওজন কত তাহা প্রদর্শন করে না, দুই তুলাপাত্রের উপরস্থ ভর সমান কি না তাহাই জ্ঞাপন করে।

কিন্তু **স্প্রিং তুলা** (**spring balance**) ব্যবহার করিলে আমরা ওজনের পার্থক্য দেখাইতে পারি।

স্প্রিং তুলার গঠন—স্প্রিং তুলার প্রধান অংশ একটি উপযুক্ত স্প্রিং। উহার উপরের প্রান্ত একটি আংটির সহিত সংযুক্ত হুকের সহিত সংলগ্ন থাকে এবং নীচের প্রান্ত আর একটি আংটির সহিত সংযুক্ত থাকে ; ঐ অংশটি হইতে নীচের দিকে একটি হুক ঝুলিতে থাকে। নীচের হুক হইতে যে বস্তুর ওজন মাপিতে হইবে উহা ঝুলানো থাকে। স্প্রিংটি একটি লোহার খোপের মধ্যে আবদ্ধ থাকে, ঐ খোপের সামনের দিক সমতল এবং পশ্চাৎদিক সিলিণ্ডারের আকৃতিবিশিষ্ট হয়।

সমতল দিকের ঠিক মাঝামাঝি স্থানে একটি লম্বা ছিদ্র বা স্লিট (slit) থাকে। ঐ স্লিটের মধ্য দিয়া স্প্রিং-এ সংলগ্ন একটি কাঁটা উঠানামা করিতে পারে এবং ঐ স্লিটের এক পাশে বিভিন্ন ওজনের দাগ কাটা থাকে।

বেশী ওজন মাপিবার জন্য যে স্প্রিং তুলা ব্যবহৃত হয়, তাহাতে খুব শক্ত স্প্রিং দেওয়া থাকে ; আর অল্প ওজন মাপিবার জন্য যে স্প্রিং তুলা ব্যবহৃত হয়, তাহার স্প্রিং কম জোরালো হয়।

স্প্রিং তুলাতে সংলগ্ন যে কাঁটাটি স্প্রিং-এর সঙ্গে উঠানামা করে উহা স্প্রিং-এর উপরের একটি বিন্দুর সহিত সংযুক্ত থাকে।

(a) (b)

স্প্রিং ব্যাল্যান্স

(a) ভিতরের গঠন ;
(b) বাহিরের অংশ—সম্মুখ দিক

কোন স্প্রিংকে টানিয়া ছাড়িয়া দিলে উহা সাধারণত উহার পূর্ব অবস্থায় ফিরিয়া আসে —যদি না উহাকে এমন জোরে টানা যায় যে উহাতে স্থায়ীভাবে পরিবর্তন ঘটিয়া যায়। সুতরাং সকল স্প্রিং তুলা এমনভাবে তৈরি থাকে যে, যত জোরে টানিলে উহার কাঁটা স্লিটের নীচের প্রান্তের ধারে আসে ততটা বল প্রয়োগ করিলে স্প্রিং-এর কোন স্থায়ী পরিবর্তন ঘটে না। ঐ সীমার মধ্যে থাকিয়া স্প্রিংকে যত জোরে টানা যায় স্প্রিং সেই অনুপাতে প্রসারিত হয়।

বলের একক (Unit of force)—প্রত্যেক জিনিসের ন্যায় বল মাপিবার জন্যও একক স্থির করা আবশ্যক। পৃথিবী এক পাউণ্ড ভরকে যত বলে আকর্ষণ করে, দুই পাউণ্ড ভরকে তাহার দ্বিগুণ বলে আকর্ষণ করে ইত্যাদি ; অর্থাৎ পৃথিবীর আকর্ষণ ভরের সমানুপাতিক। সুতরাং পৃথিবী এক পাউণ্ড ভরকে যত বলে আকর্ষণ করে উহাকে একক ধরা যাইতে পারে এবং F. P. S. প্রণালীতে উহাকে কার্যত বলের একক ধরা হয়। উহাকে **'এক পাউণ্ডের ওজন' বা one pounds weight বা 1 পাউণ্ড-ভার** বলা হয়।

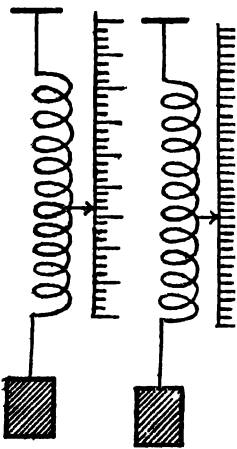
সেই প্রকার C. G. S. প্রণালীতে 1 গ্র্যাম ভরকে পৃথিবী যত জোরে আকর্ষণ করে উহাকে কখন কখন বলের একক ধরা হইয়া থাকে। ঐ একককে **'এক গ্র্যামের ওজন' বা one grams weight বা 1 গ্র্যাম-ভার** বলা হয়।

মনে কর একটি স্প্রিং-এর নীচ হইতে 10 পাউণ্ড ভর ঝুলাইয়া দেওয়া হইল। ঐ ভরকে পৃথিবী যত জোরে বা বলে আকর্ষণ করিবে তাহার ফলে কাঁটাটি তখন যে স্থানে আসিল, সেই স্থানে একটি দাগ কাটিয়া রাখা গেল। ঐ ভর সরাইয়া লইলে কাঁটাটি আবার তাহার পূর্বের স্থানে ফিরিয়া যাইবে। এইবার যদি তুমি

নীচের হুক ধরিয়া টানিয়া কাঁটাটিকে আবার ঐ দাগে লইয়া আস তবে তুমি কত বল প্রয়োগ করিয়াছ? নিশ্চয়ই দশ পাউণ্ডের ওজনের সমান। সুতরাং তুমিও স্প্রিং-এ দশ পাউণ্ড-ভার বল প্রয়োগ করিয়াছ।

স্প্রিং তুলার স্লিটের পাশে দাগ কাটিবার সময় নীচের হুক হইতে এমন ওজনের ভর ঝুলাইয়া দিতে হয় যে উহার ফলে স্প্রিং-এর কাঁটা যেন স্লিটের নীচের একেবারে ধারে চলিয়া যায়। যদি ঐ ভরের পরিমাণ (চিত্রে প্রদর্শিত মতে) 32 পাউণ্ড হয় তবে ঐখানে দাগ কাটিয়া 32 লিখিয়া রাখা হইবে এবং কোনও ভর হুক হইতে না ঝুলাইয়া কাঁটা যে অবস্থানে থাকিবে, তাহাতে 0-দাগ দেওয়া হইবে। মাঝের অংশকে সমান 32 ভাগে ভাগ করিয়া দাগ কাটিয়া রাখিলে উহা দ্বারা 32 পাউণ্ডের ওজন পর্যন্ত মাপা যাইবে। একই প্রক্রিয়ায় বিভিন্ন ওজন মাপিবার জন্য স্প্রিং তুলা প্রস্তুত করা হয়।

স্প্রিং তুলা পৃথিবীর যে অঞ্চলে দাগ কাটা হয় সেই অঞ্চলে ব্যবহার করিলে প্রকৃত মাপ পাওয়া যাইবে।

মনে কর একটি স্প্রিং তুলা বিষুবরেখার নিকটবর্তী স্থানে রাখিয়া উহার নীচের হুক হইতে 100 পাউণ্ড ভর ঝুলাইয়া কাঁটার অবস্থানে দাগ কাটিয়া রাখা হইল। এখন যদি ঐ স্প্রিং তুলা মেরু-অঞ্চলে লইয়া যাওয়া যায় তবে সেইখানে পৃথিবী 100 পাউণ্ড ভরকে আরও একটু জোরে আকর্ষণ করিবে, ফলে তখন কাঁটা একটু নীচে নামিয়া আসিবে। সুতরাং বস্তুর ওজন যে বাড়িয়াছে তাহা আমরা বুঝিতে পারিব। ঐ ওজন বৃদ্ধি কিন্তু অতি সামান্য হইবে—100 পাউণ্ডে 1 আউন্স অপেক্ষা সামান্য একটু বেশী।

দুই স্থানে একই বস্তুর ওজনের পার্থক্য স্প্রিং তুলা দ্বারা বুঝা যায়

কিন্তু সাধারণত স্প্রিং তুলা দ্বারাও আমরা বস্তুর ভর কত তাহাই নির্ণয় করি। কারণ, কোন নির্দিষ্ট স্থানে বিভিন্ন পরিমাণের ভর নীচের হুক হইতে ঝুলাইলে কাঁটা বিভিন্ন দাগে গিয়া থাকে।

1.23(a). বলের মূল একক (Fundamental Unit of Force) : সি.জি.এস. পদ্ধতিতে বলের মূল একককে এক ডাইন (Dyne) বলা হয়। এক ডাইন এক গ্র্যাম-ভারের $\frac{1}{981}$ অংশ মাত্র, অর্থাৎ 1 গ্র্যাম-ভার = 981 ডাইন = g ডাইন ধরা হয়।

m গ্র্যাম-ভার $= m \times 981$ ডাইন

$= m \times g$ ডাইন।

অর্থাৎ, m গ্র্যাম বস্তুর ভার বা ওজন প্রকৃতপক্ষে mg ডাইন বা $981m$ ডাইন।

দ্রষ্টব্য— g-কে অভিকর্ষজ ত্বরণ (Gravitational Acceleration) বলে এবং C.G S. পদ্ধতিতে ইহার প্রামাণ্য মান 981 *cm./sec.*^{2} ধরা হয়। 'অভিকর্ষজ ত্বরণ' সম্পর্কে দ্বিতীয় খণ্ডে আলোচনা করা হইয়াছে।

F.P.S. পদ্ধতিতে বলের মূল একককে **1 পাউণ্ড্যাল (Poundal)** বলা হয়। এক পাউণ্ড্যাল এক পাউণ্ড-ভারের $\frac{1}{32}$ অংশ,

অর্থাৎ, 1 পাউণ্ড-ভার $= 32$ পাউণ্ড্যাল $= g$ পাউণ্ড্যাল ধরা হয়;

$\therefore$ m পাউণ্ড-ভার $= mg$ পাউণ্ড্যাল।

অর্থাৎ, m পাউণ্ড বস্তুর ভার বা ওজন প্রকৃতপক্ষে mg পাউণ্ড্যাল বা $32m$ পাউণ্ড্যাল।

এই ক্ষেত্রে g এফ পি. এস. পদ্ধতিতে অভিকর্ষজ ত্বরণ এবং ঐ পদ্ধতিতে উহার মান 32 *ft./sec.*^{2} ধরা হয়। বস্তুতই 981 *cm.* $=32$ ফুট প্রায়।

আগেই বলা হইয়াছে অভিকর্ষজ ত্বরণের বা g-র প্রকৃত অর্থ পরে বুঝিতে পারিবে।

এখন পদ্ধতি নিরপেক্ষভাবে এইটুকু মনে রাখিতে পারিলে ভাল হয় যে, কোন বস্তুর ওজন W এবং ভর m হইলে, $W = mg$.

ঐ ওজনকে বলের মূল এককে প্রকাশ করিতে হইলে যে পদ্ধতিতে ওজন জ্ঞাতব্য সেই পদ্ধতি অনুযায়ী m এবং g-র মান বসাইতে হইবে।

উদাহরণ 1. যে বস্তুর ভর 25 গ্র্যাম, সি. জি. এস পদ্ধতির মূল বলের এককে উহার ওজন কত ?

$W = mg = 25 \times 981$ ডাইন

$= 24525$ ডাইন।

অবশ্যই ইহা 25 গ্র্যাম-ভারও বটে।

উদাহরণ 2. যে বস্তুর ভর 20 পাউণ্ড, এফ. পি. এস পদ্ধতির বলের মূল এককে উহার ওজন কত ?

$W = mg = 20 \times 32$ পাউণ্ড্যাল

$= 640$ পাউণ্ড্যাল।

অবশ্যই ইহা 20 পাউণ্ড-ভারও বটে।

ভারকেন্দ্র (Centre of Gravity)—একটি বস্তুকে অনেকগুলি বস্তুকণার সমষ্টি মনে করা যায়। প্রত্যেক বস্তুকণাকে পৃথিবী নিজ কেন্দ্রের দিকে আকর্ষণ করে। বিভিন্ন বস্তুকণার উপর সম্মিলিত আকর্ষণ বা অভিকর্ষজ বলই বস্তুর ওজন।

কোন বস্তুর সম্পর্কে নির্দিষ্ট একটি বিন্দুর ভিতর দিয়া বস্তুর সম্পূর্ণ ওজন (বা বস্তুর উপর প্রযুক্ত অভিকর্ষজ বল) নিম্নাভিমুখে ক্রিয়া করে। বস্তু সম্পর্কে সুনির্দিষ্ট ঐ বিন্দুকে বস্তুর ভারকেন্দ্র বলে।

কয়েকটি নিয়মিত জ্যামিতিক আকৃতিবিশিষ্ট বস্তুর ভারকেন্দ্র কোথায় হইবে তাহা উল্লেখ করা হইল।

সকল স্থানে সমান বেধবিশিষ্ট একই পদার্থ দ্বারা গঠিত খুব পাতলা চাদরের (lamina) তৈরি—

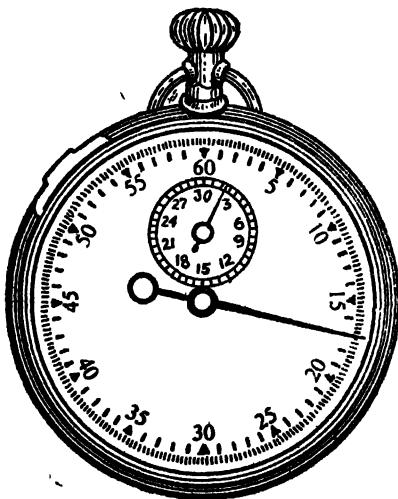
(a) বৃত্তাকার বস্তুর ভারকেন্দ্র বৃত্তের কেন্দ্রে থাকে;

(b) উপবৃত্তাকার (elliptical) বস্তুর ভারকেন্দ্র উপবৃত্তের কেন্দ্রে থাকে;

(c) সামান্তরিকের ভারকেন্দ্র সামান্তরিকের পরস্পর বিপরীত বাহু দুইটির মধ্যবিন্দু সংযোগকারী দুই রেখার ছেদ বিন্দুতে থাকে। বস্তু গোলক (sphere) হইলে ভারকেন্দ্র গোলকের কেন্দ্রে থাকে;

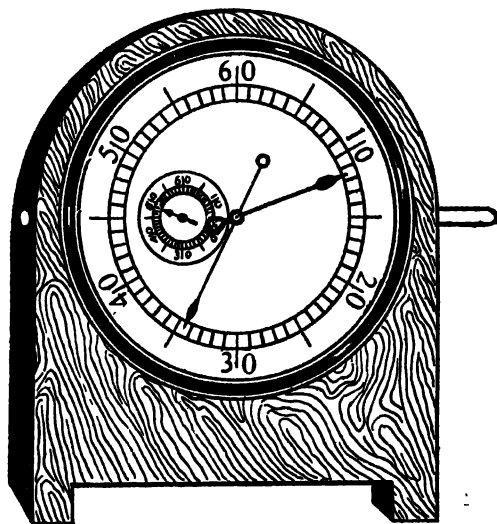
(d) বস্তু সিলিণ্ডার হইলে উহার অক্ষের মধ্যবিন্দুতে ভারকেন্দ্র থাকে।

1.24. সময় মাপিবার প্রণালী:

সময় মাপিবার একক সম্পর্কে আগেই বলা হইয়াছে। পরীক্ষাগারে বেশী সময় মাপিতে হইলে ভাল ঘড়ি ব্যবহার করা হয়। কিন্তু অল্প সময় মাপিবার জন্য স্টপ ওয়াচ (Stop Watch) বা স্টপ ক্লক (Stop Clock) ব্যবহার করা হয়।

(a) স্টপ ওয়াচ

স্টপ ওয়াচ বা স্টপ ক্লক দ্বারা সাধারণত সেকেণ্ড পর্যন্ত শুদ্ধ করিয়া সময় মাপা যায়; কোন কোন স্টপ ওয়াচ দ্বারা সেকেণ্ডের $\frac{1}{2}$ অংশ বা $\frac{1}{5}$ অংশ পর্যন্ত মাপা যায়। এক সেকেণ্ডের আরও সূক্ষ্ম অংশ মাপিবার ব্যবস্থাও আছে। মেট্রনোম (Metronome) নামক যন্ত্র পর পর নির্দিষ্ট সময় জ্ঞাপন করে।

স্টপ ওয়াচ বা স্টপ ক্লক দ্বারা সময় মাপিবার সুবিধা এই যে, ইহা চাবি টিপিবা মাত্র চলিতে আরম্ভ করে এবং আবার চাবি টিপিলেই বন্ধ হইয়া যায়, কিন্তু সময় যত সেকেণ্ড অতিক্রান্ত হইয়াছে সেকেণ্ডের কাঁটাটি তখনও তাহা নির্দেশ করে। আবার চাবি টিপিলে ঐ কাঁটা 0-অবস্থানে আসিয়া স্থির থাকে। তখন ইহাকে আবার আগের মত চালানো যায়।

স্টপ ওয়াচের সাহায্যে দৌড়, সাঁতার কাটা প্রভৃতিতে যাহারা প্রথম বা দ্বিতীয় স্থান অধিকার করে তাহারা কে কত সময়ে কত দূর গিয়াছে তাহার হিসাব রাখা হয়।

(b) স্টপ ক্লক

পরীক্ষাগারে ইহার দ্বারা দোলকের দোলনের সময় নির্ণয় করা হয়; কোন উত্তপ্ত বস্তু সময়ের সহিত কি হারে ঠাণ্ডা হয় তাহা দেখা যায় এবং এইরূপ আরও নানা কাজে সময়ের হিসাব রক্ষা স্টপ ওয়াচ বা স্টপ ক্লক দ্বারা করা হয়।

[পুরাকালে লোকে জল-ঘড়ি, বালি-ঘড়ি এবং সান-ডায়েল (sun-dial) বা সূর্য ঘড়ি ব্যবহার করিয়া সময়ের হিসাব রক্ষা করিত। বর্তমানে আর ঐভাবে সময় মাপা হয় না।]

1.25. কোণ মাপিবার প্রণালী :

তোমরা জান এক সমকোণ = 90 ডিগ্রি (°)

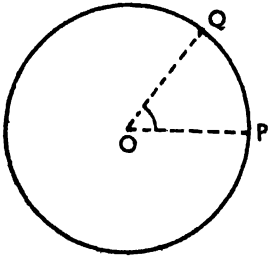
1° = 60 মিনিট (′)

1′ = 60 সেকেণ্ড (″)

কোণমান যন্ত্র বা চাঁদা 'protractor) দ্বারা কোন প্রদত্ত কোণের মান নির্ণয় করিতেও তোমরা শিখিয়াছ।

গণিত ও বিজ্ঞানে কোণ মাপিবার জন্য ডিগ্রি ছাড়া অন্য একপ্রকার একক বহু ক্ষেত্রে ব্যবহৃত হইয়া থাকে। ঐ এককের নাম এক রেডিয়ান (Radian)।

রেডিয়ানের সংজ্ঞা—যে কোন বৃত্তের পরিধি হইতে উহার ব্যাসার্ধের সমান বৃত্তচাপ চিহ্নিত করিলে ঐ বৃত্তচাপ ঐ বৃত্তের কেন্দ্রে যে কোণ উৎপন্ন করে, তাহাই এক রেডিয়ান। এক রেডিয়ান $= 57^\circ\ 17'\ 40''\ {\cdot}81$.

নিম্নের চিত্রে O বিন্দুকে কেন্দ্র করিয়া OP ব্যাসার্ধ লইয়া একটি বৃত্তচাপ আঁকা হইয়াছে। উহার PQ বৃত্তচাপের দৈর্ঘ্য উহার ব্যাসার্ধ OPর সমান। সুতরাং $\angle POQ =$ এক রেডিয়ান। বৃত্তের সাহায্যে এই কৌণিক মাপ করা হয় বলিয়া কোণের এইরূপ মাপকে **বৃত্তীয় কৌণিক মাপ (Circular measure)** বলা হয়।

রেডিয়ান

এই এককের সহিত সাধারণ ডিগ্রির সম্পর্ক বুঝিতে হইলে বৃত্তের পরিধির সহিত উহার ব্যাসের সম্পর্ক আগে জানা আবশ্যক।

যে কোন বৃত্তের পরিধির দৈর্ঘ্য উহার ব্যাসের তুলনায় প্রায় $\frac{22}{7}$ গুণ। সুতরাং যদি ইহার দ্বারা 7 ফুট ব্যাসের একটি বৃত্ত প্রস্তুত করা যায় এবং শেষে উহার পরিধি সোজা করিয়া লইয়া উহার দৈর্ঘ্য মাপা হয়, তবে দৈর্ঘ্য প্রায় 22 ফুট হইবে। এইভাবে যে কোনও মাপের বৃত্ত আঁকা হউক না কেন, পরিধির দৈর্ঘ্য মাপিয়া ব্যাসের দৈর্ঘ্য দ্বারা উহাকে ভাগ করিলে ভাগফল প্রায় $\frac{22}{7}$ হইবেই।

প্রকৃতপক্ষে জ্যামিতির সাহায্যে প্রমাণ করা যায় যে,

$$\frac{\text{বৃত্তের পরিধি}}{\text{বৃত্তের ব্যাস}} = \text{ধ্রুবক (constant) বা নিত্য সংখ্যা।}$$

ঐ ধ্রুবক প্রায় $\frac{22}{7}$ এর কাছাকাছি সংখ্যা হইলেও উহা সঠিক $\frac{22}{7}$ নহে। অথচ ইহা একটি ধ্রুবক। ঐ ধ্রুবককে গ্রীক অক্ষর π (পাই) দ্বারা নির্দেশ করা হইয়া থাকে।

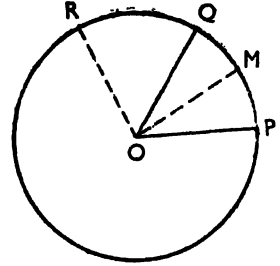
$$\text{সুতরাং, } \frac{\text{বৃত্তের পরিধি}}{\text{বৃত্তের ব্যাস}} = \pi.$$

মনে রাখিতে হইবে π একটি শুদ্ধ সংখ্যা এবং ইহার মান আসন্ন 3·1416 অথবা আসন্ন $\frac{22}{7}$, কিন্তু সঠিক 3·1416 বা $\frac{22}{7}$ নহে। আমরা সাধারণ হিসাবের জন্য উহাকে $\frac{22}{7}$ ধরিয়া লইব।

যদি বৃত্তের ব্যাসার্ধ r হয়, তবে ব্যাস হইবে $2r$.

$$\text{এখন, } \frac{\text{বৃত্তের পরিধি}}{\text{বৃত্তের ব্যাস}} = \pi \qquad \therefore \frac{\text{বৃত্তের পরিধি}}{2r} = \pi$$

$$\therefore \text{ বৃত্তের পরিধি} = 2\pi r.$$

তোমরা জান একই বৃত্তে সমান সমান বৃত্তচাপ কেন্দ্রে সমান সমান কোণ উৎপন্ন করে। সুতরাং যদি PQ বৃত্তচাপ OP ব্যাসার্ধের সমান দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট হয় এবং QR বৃত্তচাপ PQ চাপের সমান হয় তবে PR বৃত্তচাপ PQ বৃত্তচাপের দ্বিগুণ হইবে এবং PR বৃত্তচাপ O বিন্দুতে 2 রেডিয়ান কোণ উৎপন্ন করিবে। যদি PM বৃত্তচাপ PQ বৃত্ত-চাপের অর্ধেক হয় তবে PM বৃত্তচাপ O বিন্দুতে $\frac{1}{2}$ রেডিয়ান কোণ উৎপন্ন করিবে। সুতরাং **কোন বৃত্তচাপের দৈর্ঘ্যকে ঐ বৃত্তের ব্যাসার্ধ দ্বারা ভাগ করিলে যে সংখ্যা হইবে ঐ সংখ্যা রেডিয়ান এককে ঐ বৃত্তের কেন্দ্রে উৎপন্ন কোণের পরিমাণ জ্ঞাপন করিবে।**

$\angle POQ = 1$ রেডিয়ান
$\angle POR = 2$ রেডিয়ান
$\angle POM = \frac{1}{2}$ রেডিয়ান
$OP = PQ = QR$;
$PM = \frac{1}{2}PQ$

$$\therefore \frac{\text{বৃত্তচাপের দৈর্ঘ্য}}{\text{বৃত্তের ব্যাসার্ধ}} = \text{রেডিয়ান সংখ্যা।}$$

সুতরাং কোন্ বৃত্তচাপ কেন্দ্রে কত রেডিয়ান কোণ উৎপন্ন করিয়াছে তাহা জানিতে হইলে বৃত্তচাপের দৈর্ঘ্যকে ব্যাসার্ধ দ্বারা ভাগ করিলে জানা যাইবে।

এখন বৃত্তের সম্পূর্ণ পরিধি কেন্দ্রে কত রেডিয়ান কোণ উৎপন্ন করিবে ?

$$\text{রেডিয়ান সংখ্যা} = \frac{\text{বৃত্তের পরিধি}}{\text{বৃত্তের ব্যাসার্ধ}} = \frac{2\pi r}{r} = 2\pi.$$

অর্থাৎ, যে কোন বৃত্তের পরিধি উহার কেন্দ্রে 2π রেডিয়ান কোণ উৎপন্ন করে। কিন্তু তোমারা জান, যে কোন বিন্দুর চতুর্দিকের সমগ্র কোণের পরিমাণ 4 সমকোণ

$$\therefore 2\pi \text{ রেডিয়ান} = 4 \text{ সমকোণ}$$

$$\text{অথবা } \pi \text{ রেডিয়ান} = 2 \text{ সমকোণ}$$

$$\frac{\pi}{2} \text{ রেডিয়ান} = 1 \text{ সমকোণ}$$

$$\text{আবার } \pi \text{ রেডিয়ান} = 180 \text{ ডিগ্রি}$$

$$1 \text{ রেডিয়ান} = \frac{180}{\pi} \text{ ডিগ্রি।}$$

মনে রাখিতে হইবে π একটি সংখ্যা, যেমন 1, 2, 3, π, 4, 5 ইত্যাদি। ঐ সংখ্যা একটি পূর্ণ সংখ্যা নহে, উহার মান 3 এবং 4 এর অন্তর্বর্তী।

যেমন 3 টাকা, 7 কিলোগ্রাম, 5 মিটার প্রভৃতি বলা যায় তেমনি π টাকা (3·1416 টাকা বা 3 টাকা 14 ন. প. প্রায়), π কিলোগ্রাম বা (3·1416

কিলোগ্রাম=3141·6 গ্র্যাম) π মিটার প্রভৃতি বলা চলিবে। "π রেডিয়ান" বলিলে উহা 180° কোণ বুঝাইবে।*

1.26. কয়েকটি বিশিষ্ট গঠনের বস্তুর আকৃতি আয়তন ও ক্ষেত্রফলঃ

আকৃতি (Shape): নিম্নের চিত্রের শেষের লাইনে বস্তুগুলির আকৃতি ও প্রথম লাইনে উহাদের রেখা-চিত্র দেওয়া হইল—

1. প্রিজম (prism)
2. ঘনক (cube)
3. চৌপল (Rectangular parallelopiped)
4. সিলিণ্ডার (cylinder)
5. শঙ্কু (cone)
6. গোলক (sphere)

আয়তন (Volume):

(1) চৌপল বা ঘনকাকৃতি বস্তুর আয়তন = দৈর্ঘ্য × প্রস্থ × উচ্চতা ঘন এককে

(2) গোলকের (sphere) আয়তন = $\frac{4}{3}\pi r^3$ ঘন এককে
r = ব্যাসার্ধ

(3) সিলিণ্ডারের (right cylinder) আয়তন = $\pi r^2 l$ ঘন এককে
r = ব্যাসার্ধ
l = দৈর্ঘ্য

(4) cone বা শঙ্কুর (right circular) আয়তন = $\frac{1}{3}\pi r^2 h$ ঘন এককে
r = বৃত্তাকার ভূমির ব্যাসার্ধ
h = ভূমির কেন্দ্র হইতে উপরের শীর্ষ বিন্দু পর্যন্ত উচ্চতা।

* কিন্তু ত্রিকোণমিতিতে এমন স্থল আছে যেখানে π লিখিলে π রেডিয়ান ছাড়া অন্য অর্থ সম্ভব নহে, সেই সকল ক্ষেত্রে π রেডিয়ানের পরিবর্তে অনেক সময় π-ই লেখা থাকে। যথা—$\sin\frac{\pi}{2}$, $\sin\pi$, $\cos\pi$, $\tan\frac{\pi}{2}$, $\tan\frac{\pi}{4}$ ইত্যাদি।

ক্ষেত্রফল (Area) :

(1) ত্রিভুজ $= \frac{1}{2}$ ভূমি × উচ্চতা

$= \sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)}$ বর্গ এককে

$s =$ ত্রিভুজের পরিসীমার অর্ধেক $= \left(\frac{a+b+c}{2}\right)$

a, b, c ত্রিভুজের বাহুগুলির দৈর্ঘ্য।

(2) বৃত্ত $= \pi r^2$ বর্গ এককে

$r =$ ব্যাসার্ধ।

(3) গোলক $= 4\pi r^2$ বর্গ এককে

$r =$ ব্যাসার্ধ।

1.27. অণু ও পরমাণু সম্পর্কে প্রাথমিক ধারণা :

একটি পরখ নলে সামান্য একটু ডিস্টিল্‌ড ওয়াটার লও। ইহা উপুড় করিয়া 'সব' জল ফেলিয়া দাও। পরখ নলের গা কিন্তু ভিজা থাকিবে, কারণ উহার গায়ে সামান্য জল লাগিয়া থাকিবে। এখন পরখ নলটিকে উপুড় করিয়া একখানা কচুপাতা বা তৈলাক্ত কাচের উপর ঝাড়িলে ইহাতে অত্যন্ত ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কয়েকটি জলবিন্দু দেখিতে পাইবে। এখন কল্পনা কর অন্য কোন উপায়ে একটি ক্ষুদ্র জলবিন্দুকে ক্ষুদ্র হইতে ক্ষুদ্রতর করা হইতেছে। ক্রমে ইহা এত ক্ষুদ্র হইবে যে শক্তিশালী অনুবীক্ষণ যন্ত্র দ্বারাও উহাকে আর দেখা যাইবে না, কিন্তু তাই বলিয়া উহার অস্তিত্ব নাই তাহা তো নয়। সুতরাং আরও ক্ষুদ্র জলকণার কথা আমরা কল্পনা করিতে পারি। কিন্তু এইভাবে যদি আমরা ক্ষুদ্রতম জলকণায় পৌঁছি তবে উহাকে আর ক্ষুদ্র করা চলিবে না বটে, কিন্তু তখনও উহাকে বিশ্লেষণ করিয়া হাইড্রোজেন এবং অক্সিজেন পাওয়া যাইবে। কারণ, জল হাইড্রোজেন এবং অক্সিজেনের যৌগিক, যেহেতু জল বিশ্লেষণ করিয়া হাইড্রোজেন এবং অক্সিজেন পাওয়া যায়। কিন্তু হাইড্রোজেন এবং অক্সিজেনে জলের গুণ বর্তমান থাকে না। সুতরাং জলের গুণ বিদ্যমান আছে এমন যে ক্ষুদ্রতম জলের কণা আমরা কল্পনা করিতে পারি তাহার অসংখ্য কণার সমষ্টিই জল। জলের ঐ ক্ষুদ্রতম কণাকে জলের অণু (molecule) বলে।

জল বিশ্লেষণ করিয়া যে হাইড্রোজেন পাওয়া যায় তাহারও যে ক্ষুদ্রতম কণায় হাইড্রোজেনের গুণ বিদ্যমান থাকে তাহাকে হাইড্রোজেনের অণু বলা চলিবে। সেইরূপ অক্সিজেনের অণু, ক্যালসিয়ামের অণু, সোনার অণু, রূপার অণু প্রভৃতি

যে কোন মৌলিক পদার্থেরও অণু থাকিবে। সুতরাং সাধারণভাবে অণুর সংজ্ঞা এইভাবে দেওয়া যায়।

অণু (Molecule)—কোন মৌলিক অথবা কোন যৌগিক বস্তুর যে ক্ষুদ্রতম অংশে ঐ বস্তুর গুণ বিদ্যমান থাকে তাহাকে ঐ বস্তুর অণু বলে।

রাসায়নিক পরিবর্তনের প্রসঙ্গে জানা যায় যে, রাসায়নিক পরিবর্তন ঘটিলে বস্তুর উপাদানগুলির গুণ হারাইয়া নূতন গুণসম্পন্ন নূতন বস্তু উৎপন্ন হয়। আবার যৌগিক বস্তুর অংশ ক্ষুদ্রতর হইয়া ক্ষুদ্রতম অণুতে পরিণত হইলেও বস্তুর নিজস্ব গুণ বর্তমান থাকে। সুতরাং অণুতে পরিবর্তন না ঘটিলে রাসায়নিক পরিবর্তন ঘটে না, ইহাই বুঝা যায়।

হাইড্রোজেন এবং অক্সিজেন মিশাইয়া দিলেই জল হয় না; উহাদের মধ্যে রাসায়নিক ক্রিয়া হওয়া আবশ্যক; এবং জলের অণুতে হাইড্রোজেন এবং অক্সিজেন উভয়ই বিদ্যমান থাকে। ইহা হইতেই বুঝা যায় যে হাইড্রোজেন এবং অক্সিজেনের অণু ভাঙ্গিয়া নূতন অণু সৃষ্ট হইলেই জল উৎপন্ন হয়।

হাইড্রোজেন মৌলিক পদার্থ, সুতরাং হাইড্রোজেনের অণু ভাঙিয়া হাইড্রোজেন ব্যতীত অন্য পদার্থের কণা পাওয়া যাইবে না। এই কথা যে কোন মৌলিক পদার্থ সম্পর্কে প্রযোজ্য। হাইড্রোজেনের অণু ভাঙিয়া যে কণা রাসায়নিক ক্রিয়ার সময় সক্রিয় হয় তাহাকে হাইড্রোজেনের পরমাণু বলে। সেইরূপ অক্সিজেন বা অন্য মৌলিক পদার্থের পরমাণুই রাসায়নিক ক্রিয়ার সময় অংশ গ্রহণ করিয়া নূতন অণু সৃষ্ট হয়। সুতরাং সাধারণভাবে পরমাণুর সংজ্ঞা নিম্নলিখিতরূপে দেওয়া হয়—

পরমাণু (Atom)—কোন মৌলিক পদার্থের যে ক্ষুদ্রতম অংশ রাসায়নিক ক্রিয়ার সময় কার্যকর হয় তাহাকে ঐ মৌলিক পদার্থের পরমাণু বলে।

মৌলিক পদার্থের অণু বিশ্লেষণ করিয়া একই প্রকার পরমাণু পাওয়া যাইবে, কিন্তু যৌগিক পদার্থের অণু বিশ্লেষণ করিয়া দুই বা ততোধিক প্রকার পরমাণু পাওয়া যাইবে।

1.28. কঠিন, তরল ও বায়বীয় বস্তুর পার্থক্য:

কঠিন বস্তুর নির্দিষ্ট আয়তন আছে: ঐরূপ বস্তুকে কাটিতে বা উহার অংশ বিচ্ছিন্ন করিতে বলপ্রয়োগ করা আবশ্যক। কঠিন বস্তুকে রাখিতে সাধারণত পাত্রের আবশ্যক হয় না।

তরল পদার্থের নির্দিষ্ট আকার নাই—যে পাত্রে রাখা যায় উহা সেই পাত্রের আকার ধারণ করে। কিন্তু নির্দিষ্ট ওজনের তরল পদার্থের আয়তন নির্দিষ্ট

উষ্ণতায় ঠিকই থাকে—যে পাত্রে রাখা যায় সেই পাত্র ভরিয়া যায় না। তরল পদার্থের অংশ বিচ্ছিন্ন করিতে বিশেষ বলপ্রয়োগ করিতে হয় না। তরল পদার্থ রাখিতে পাত্রের আবশ্যক, তবে খোলা পাত্রে রাখা যায়।

বায়বীয় পদার্থের নির্দিষ্ট আকার নাই এবং নির্দিষ্ট ওজনের বায়বীয় পদার্থের আয়তন নির্দিষ্ট উষ্ণতায়ও নির্দিষ্ট নহে—যে পাত্রে উহাকে রাখা যায় উহা সেই পাত্র সম্পূর্ণরূপে ভরিয়া থাকে। বায়বীয় পদার্থের অংশ বিচ্ছিন্ন করিতে বলপ্রয়োগ করিতে হয় না এবং বায়বীয় বস্তু পৃথক করিয়া রাখিতে হইলে আবদ্ধ পাত্রের আবশ্যক হয়।

কঠিন পদার্থের অণুগুলির মধ্যে পরস্পরের আকর্ষণ খুব বেশী, তরল পদার্থের অণুগুলির ঐ আণবিক আকর্ষণ অপেক্ষাকৃত কম এবং বায়বীয় বস্তুর অণুগুলির মধ্যে ঐ আকর্ষণ প্রায় নাই বলা চলে।

বস্তু যে প্রকারই হউক না কেন উহাদের অণুগুলি পরস্পরের খুব বেশী নিকটে আসিলে পরস্পরের মধ্যে বিকর্ষণ আরম্ভ হয় কিন্তু আবার কিছু দূরে থাকিলে উহাদের মধ্যে আকর্ষণ হয়।

1.29. পদার্থের সাধারণ গুণ:

1. **মহাকর্ষ (Gravitation)**—প্রত্যেক বস্তু একে অপরকে এবং একই বস্তুর একখণ্ড অপরখণ্ডকে মহাকর্ষের নিয়মে পরস্পর আকর্ষণ করে। ঐ আকর্ষণ, বস্তুখণ্ড দুইটির ভর এবং দূরত্বের উপর নির্ভর করে অন্য কোন কিছুর উপর নির্ভর করে না। একখণ্ড পাথর অপর একখণ্ড পাথরকে, পৃথিবী একখণ্ড পাথরকে এবং সূর্য পৃথিবীকে অথবা পৃথিবী চন্দ্রকে ঐ একই নিয়মে আকর্ষণ করে।

2. **জাড্য (Inertia)**—বস্তু মাত্রই দৃশ্যত হয় স্থির অবস্থায় অথবা চলমান অবস্থায় আছে ; আর যে বস্তু যে স্থানে যে অবস্থায় আছে উহা সেই অবস্থায়ই থাকিতে চায়, অর্থাৎ যে বস্তু স্থির আছে তাহা চিরকাল স্থির থাকিতে চায়—যদি বাহির হইতে প্রযুক্ত কোন বল উহার অবস্থান পরিবর্তন করিতে বাধ্য না করে। সেইরূপ যে বস্তু কোন নির্দিষ্ট বেগে কোন সরলরেখাক্রমে চলিতে থাকে উহা সেই সরলরেখাক্রমে ঐ বেগে চলিতে চায় যদি না বাহির হইতে কোন বল উহাকে অন্য পথে বা অন্য বেগে চলিতে বাধ্য করে।

3. **অভেদ্যতা (Impenetrability)**—দুই বস্তু একই সময়ে একই স্থান দখল করিয়া থাকিতে পারে না; পরখ নলের বায়ু অপসারিত না হইলে উহাকে জল দ্বারা পূর্ণ করা যায় না। জলের মধ্যে পিতলের বল ডুবাইলে জল সরাইয়া

পিত্তলের বল ঐ স্থান দখল করিবে; কাঠের মধ্যে পেরেক পুঁতিলে কাঠ সরাইয়া পেরেক নিজের স্থান দখল করিয়া লইবে।

4. বিস্তৃতি (Extension)—বস্তু মাত্রই কিছু না কিছু স্থান জুড়িয়া অবস্থান করে।

5. সচ্ছিদ্রতা (Porosity)—কোন বস্তুর কণাগুলি বা অণুগুলি যতই সংঘবদ্ধ অবস্থায় থাকুক না কেন উহাদের পরস্পরের বিকর্ষণের জন্য উহাদের মধ্যে অল্পবিস্তর সূক্ষ্মাতিসূক্ষ্ম ফাঁক থাকিবেই।

জলের মধ্যে অতি অল্প একটু নীল ফেলিয়া দিলে ধীরে ধীরে উহা জলের মধ্যে ছড়াইয়া যায়। জলের কণার মধ্যে কোন ফাঁক না থাকিয়া একেবারে নিরেট হইলে ঐভাবে নীল ছড়াইত না। ইহাতে নীলের বিভাজ্যতা এবং জলের সচ্ছিদ্রতা প্রমাণিত হয়।

6. বিভাজ্যতা (Divisibility)—প্রত্যেক বস্তু সূক্ষ্মাতিসূক্ষ্ম ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কণায় বিভক্ত করা যায়। চক পেন্সিল দ্বারা অতি সন্তর্পণে বোর্ডে একটা এক ইঞ্চি লম্বা রেখা টানিলে কতটা চক ক্ষয় হইল তাহা চক পেন্সিলকে ওজন করিলে ধরা পড়িবে না, কিন্তু বোর্ডে যতটুকু চক লাগিয়া রহিল তাহার অতি এক ক্ষুদ্র অংশ সূচের আগায় তুলিয়া আনা চলিবে। এইভাবে চকের ক্ষুদ্রাতিক্ষুদ্র কণা হইতে চকের অণুতে পৌছানো যায়।

কোন গন্ধদ্রব্য ঘরের এক কোণে রাখিলে শীঘ্রই উহার সূক্ষ্ম কণা বায়ুতে ছড়াইয়া ঘরের অন্য কোণে পৌছিতে পারে।

7. সংনম্যতা (Compressibility)—কোন বস্তুর কণাগুলি যতই ঘন সন্নিবিষ্ট হউক না কেন, প্রচণ্ড চাপে উহার আয়তন অল্পবিস্তর কমানো সম্ভবপর। যে স্থলে অণুগুলির পরস্পরের মধ্যে বিকর্ষণ বেশী সেই স্থলে খুব বেশী চাপে আয়তন যৎসামান্য কমিবে বটে।

গ্যাসকে চাপ দিয়া সহজে আয়তন কমানো যায়, জলকে চাপ দিয়া সহজে আয়তন কমানো যায় না, প্রচণ্ড চাপে আয়তন অতি সামান্যই কমে।

8. সংসক্তি (Cohesion)—কোন বস্তুর একই প্রকার অণুগুলির মধ্যের আকর্ষণকে সংসক্তি বলে। প্রত্যেক অণুর চারিদিকে এক নির্দিষ্ট দূরত্ব পর্যন্ত (অবশ্য ঐ দূরত্ব অত্যন্ত অল্প) ঐ আকর্ষণ কার্যকর হয়। সুতরাং বস্তুর মধ্যস্থিত কোন অণু সব দিক হইতে সমানভাবে আকর্ষিত হওয়ায় উহার উপর প্রকৃতপক্ষে কোন আকর্ষণ সব সময় ক্রিয়াশীল থাকে না; কঠিন বস্তুকে ভাঙিতে গেলে ঐ আকর্ষণ বুঝা যায়।

9. আসঞ্জন (Adhesion)—দুই প্রকার বস্তুর অণুর পরস্পরের মধ্যে আকর্ষণকে আসঞ্জন বলে। এই আসঞ্জন আছে বলিয়া জল কাচের গা ভিজাইয়া দেয়, কাগজের উপর আর একখানা কাগজ আঠা দিয়া লাগাইয়া দেওয়া চলে।

10. স্থিতিস্থাপকতা (Elasticity)—কোন বস্তুর উপর বলপ্রয়োগ করিয়া উহার আকার পরিবর্তন করিতে চাহিলে বস্তুর মধ্যস্থ পদার্থ ঐ আকার-পরিবর্তনে বাধা দেয় এবং প্রযুক্ত বলের প্রভাবে আকার পরিবর্তিত হইলেও, যে মুহূর্তে ঐ বল অপসারণ করা হয় সেই মুহূর্তে বস্তুটি তাহার পূর্বের আকার ফিরিয়া পায়। এই আকৃতি পরিবর্তনে বাধা দেওয়া এবং বলের প্রভাবমুক্ত হইলে স্বকীয় আকৃতি ফিরিয়া পাওয়া বস্তু মাত্রেরই একটি সাধারণ ধর্ম; ইহাকে স্থিতিস্থাপকতা বলে। অবশ্য প্রযুক্ত বল এক নির্দিষ্ট সীমার মধ্যে থাকা আবশ্যক।

একখানা স্টীলের পাতকে হাত দিয়া অল্প একটু বাঁকাইতে হইলেও জোর লাগে, কারণ স্টীল উহার আকৃতি পরিবর্তনে বাধা দেয়; আবার হাত ছাড়িয়া দিলে উহা উহার নিজের আকৃতি ফিরিয়া পায়। বায়ুকে কোন পাত্রে আবদ্ধ করিয়া চাপ দিলে উহার আয়তন কমে, কিন্তু চাপ ছাড়িয়া দিলে আবার উহা আগের অবস্থায় ফিরিয়া আসে।

প্রশ্ন

1. স্কেলের সাহায্যে কোন বস্তুর দৈর্ঘ্য মাপিতে হইলে কি বিষয়ে সাবধানতা অবলম্বন করিতে হয়?
(What precautions are necessary for measuring a length by a scale?)

2. একটি শ্বেত পাথরের খণ্ড তোমাকে দেওয়া হইল। ইহার আয়তন কোন্ যন্ত্র দ্বারা কিভাবে মাপিবে?

(A piece of marble is given to you. With what appliances and how would you measure its volume?)

3. একটি স্প্রিং তুলার চিত্র আঁকিয়া উহা বর্ণনা কর। একটি স্প্রিং তুলা দ্বারা 100 পাউণ্ড ওজন করা যায়। তুমি উহাকে টানিয়া সূচককে 50 পাউণ্ডের দাগের উপরে আনিলে। তুমি যে বল প্রয়োগ করিয়াছ তাহার পরিমাণ কত? ইহা কত গ্রাম-ভারের সহিত সমান?

(Draw a diagram of a spring balance and describe it. A spring balance can weigh a mass of 100 lbs; you pull it so as to stretch it up to the mark 50 lbs. What is the measure of the force you applied? What is it in grams weight?

[Ans. 50 lbs weight; 22678 grams weight]

4. পৃথিবীর বিষুবরেখার উপর যে বস্তুর ওজন 100 পাউণ্ড ভার, পৃথিবীর উত্তর মেরুতে তাহার ওজন একটু বেশী হইবে। ঐ পার্থক্য সূক্ষ্ম স্প্রিং তুলায় ধরা পড়িবে কিন্তু সাধারণ তুলা যতই ভাল হউক না কেন, উহা দ্বারা ঐ পার্থক্য বুঝা যাইবে না। কেন?

(A body which weighs 100 lbs at the equator, will weigh a little more at the north pole. This difference can be detected by means of a delicate spring balance but not by a common balance—however delicate it may be. Explain why).

5. অণু এবং পরমাণু সম্পর্কে তোমার ধারণা বিবৃত কর।

(State your ideas about molecule and atom.)

6. কঠিন, তরল এবং বায়বীয় বস্তুর মধ্যে পার্থক্য নির্দেশ কর।

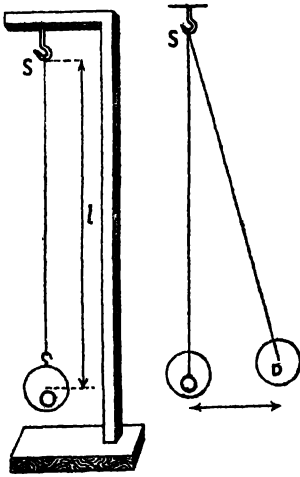
(Indicate the points of difference between a solid, a liquid and a gas.)

7. পদার্থের সাধারণ গুণ কি কি ? উদাহরণের সাহায্যে তোমার উত্তর ব্যাখ্যা কর।

(What are the general properties of matter ? Explain your answer with examples.)

তৃতীয় পাঠ

1.3 সরল দোলক (Simple Pendulum) :

পর্যাবৃত্ত গতি—যখন কোন বস্তু চলিবার পথে নির্দিষ্ট সময়ের ব্যবধানে একই স্থানে বারবার আসিতে থাকে তখন ঐ বস্তুর গতিকে পর্যাবৃত্ত গতি (periodic motion) বলা হয়। সেই হিসাবে বৈদ্যুতিক পাখার ব্লেডের ঘূর্ণনকে পর্যাবৃত্ত গতি বলা যাইবে, সূর্যের চতুর্দিকে পৃথিবীর ঘূর্ণনকে পর্যাবৃত্ত গতি বলা যাইবে এবং যন্ত্র দ্বারা কল ঘুরাইলে উহার বহু অংশেই ঐ পর্যাবৃত্ত গতি হইবে।

সরল দোলক

SO = দোলকের দৈর্ঘ্য OD = বিস্তার

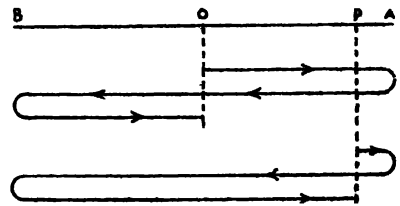
S—বিলম্বন বিন্দু ; O দোলন বিন্দু

কিন্তু পর্যাবৃত্ত গতি হইলেই যে বৃত্তাকার পথে চলিতে হইবে তাহা নহে। সরলরেখায় একবার একদিকে এবং পরের বার অপরদিকে নির্দিষ্ট সময় পর পর চলিলেও পর্যাবৃত্ত গতি হইতে পারে। পার্কের দোলনায় বা গাছের ডাল হইতে ঝুলানো দোলনায় দোল খাইবার সময় দোলনা যেভাবে চলে তাহাও পর্যাবৃত্ত গতি। দেওয়াল-ঘড়ির দোলক টিক্ টিক্ করিয়া ক্রমান্বয়ে ডান ও বাম পাশে পর্যাবৃত্ত গতিতে চলিতে থাকে।

দেওয়ালে একটি পেরেক পুঁতিয়া উহার সহিত একটি শক্ত অথচ হাল্‌কা সুতা বাঁধিয়া সুতার অন্যপ্রান্তে একটি হুকযুক্ত ধাতুর বল ঝুলাইয়া দাও—বল বা সুতা যেন দেওয়ালের গায়ে না ঠেকে। বলটিকে একপাশে সামান্য টানিয়া নিয়া ছাড়িয়া দিলে উহা পর্যাবৃত্ত গতিতে দুলিতে থাকিবে এবং সাধারণ কাজের জন্য ইহাকেই একটি সরল দোলক বলা চলিবে।

সরল দোলক সম্পর্কিত কয়েকটি সংজ্ঞা—বৈজ্ঞানিক হিসাবে সরল দোলক একটি আদর্শ কল্পনা মাত্র। ইহা কার্যত পাওয়া যাইবে না। কারণ, সরল দোলক বলিলে এমন একটি দোলক বুঝিতে হইবে যাহার নীচের পিণ্ডটি (bob) একখণ্ড ওজনবিহীন সুতা দ্বারা এমন কোন অনমনীয় আশ্রয়-বিন্দু হইতে ঝুলাইয়া রাখা হইয়াছে যেখানে কোন ঘর্ষণ নাই এবং যে সুতা দ্বারা পিণ্ডটি ঝুলানো আছে তাহা টানিলে একটুও লম্বা হয় না।

পরীক্ষাগারে একটি কাঠের ফ্রেমের উপরের হুক হইতে একখণ্ড হাল্কা অথচ শক্ত সুতা দ্বারা একটি ভারী পিতলের বল ঝুলাইয়া সরল দোলক প্রস্তুত করা হয়।

যে বিন্দু হইতে সরল দোলকটি ঝুলানো হয় উহাকে দোলকের **বিলম্বন বিন্দু (Point of Suspension)** বলে; আর নীচের পিণ্ডটির ভারকেন্দ্রকে দোলকের **দোলন বিন্দু (Point of Oscillation)** বলে। পিণ্ডটি সঠিক বর্তুলাকার (spherical) হইলে উহার কেন্দ্র বিন্দুই দোলন বিন্দু হইবে।

O বিশ্রাম স্থান; OA = OB দুই দিকের বিস্তার। O হইতে আরম্ভ করিয়া ডান দিকে A পর্যন্ত গিয়া O স্থানকে বিপরীত দিকে অতিক্রম করিয়া বাম দিকে B পর্যন্ত গিয়া আবার যখন বাম হইতে ডান দিকে যাইবার সময় O অতিক্রম করিবে তখন এক পর্যায়-কাল শেষ হইবে।

অথবা দোলনের পথে যে কোন বিন্দু P হইতে একদিকে রওয়ানা হইয়া আবার সেই বিন্দু সেই দিকে অতিক্রম করিবার সময়ের ব্যবধান এক পর্যায়-কাল।

গতি পথ একই সরলরেখা BOA-র উপর থাকিবে; চিত্র আঁকিবার সুবিধার জন্য পৃথক-ভাবে দেখানো হইয়াছে।

দোলকের দৈর্ঘ্য (Length of the Pendulum) বলিলে সর্বদা বিলম্বন বিন্দু এবং দোলন বিন্দুর দূরত্ব বুঝাইবে।

দোলককে একপাশে টানিয়া রাখিয়া ছাড়িয়া দিলে দোলক একই উল্লম্ব (vertical) সমতলে বারবার দুলিতে থাকিবে; যখন দোলক ঐভাবে না দুলিয়া স্থির থাকে, সেই অবস্থানকে দোলকের **বিশ্রাম-স্থান (Position of rest)** বলে। দুলিবার সময় বিশ্রাম-স্থানের দুই পাশের যে কোন পাশে দোলন বিন্দু সর্বাপেক্ষা অধিক দূরে যে পর্যন্ত যায় বিশ্রাম-স্থান হইতে সেই দূরত্বকে **এম্প্লিচিউড (Amplitude) বা বিস্তার** বলে।

দোলকের **দোলন-সময় বা পর্যায়-কাল (Period of oscillation)** বলিলে দোলন বিন্দুর গতিপথে যে কোন অবস্থান পরপর দুইবার একই দিকে অতিক্রম করিতে যে সময়ের ব্যবধান হয় তাহাই বুঝায়।

এই সময় মাপিবার জন্য আমাদের স্টপ ওয়াচ বা স্টপ ক্লক ব্যবহার করিতে হয়।

পরীক্ষা—দোলকের পর্যায়-কাল বা পিরিয়ড নির্ণয়—দোলকটি এমনভাবে দোলাইয়া দাও যেন উহার সুতাটি সর্বদা একই উল্লম্ব (vertical) সমতলে থাকে। এখন অপেক্ষা কর যাহাতে দোলকের বিস্তার ক্রমশ কমিয়া এমন হয় যে, দোলন বিন্দু যে পথে চলিতেছে তাহা প্রকৃতপক্ষে বৃত্তাকার হইলেও দৃশ্যত প্রায় সরলরেখা বলিয়া মনে হয়।

এইবার সময় দেখিতে আরম্ভ করিতে হইবে। ইহার জন্য তাড়তাড়ি করিবার আবশ্যক নাই। স্টপ ওয়াচ হাতে লইয়া দোলকের বিশ্রাম-স্থানের বরাবর সম্মুখে দাঁড়াইয়া প্রস্তুত হও। দোলক যখন উহার বিশ্রাম-স্থান অতিক্রম করিয়া ডান দিকে চলিতে আরম্ভ করিবে, ঠিক সেই সময় স্টপ ওয়াচের চাবি টিপিয়া দাও। এখন দোলক ডান দিকে সবচেয়ে বেশী দূর গিয়া ফিরিয়া আসিয়া যখন বিশ্রাম-স্থান অতিক্রম করিয়া বাম দিকে সব চেয়ে বেশী দূরে গিয়া আবার ফিরিয়া আসিয়া ডান দিকে চলিবে তখন 1 গুনিতে হইবে, ঐ সময়ই পর্যায়-কাল। স্টপ ওয়াচ বন্ধ না করিয়া যখন যখন দোলক বিশ্রাম-স্থান অতিক্রম করিয়া ডান দিকে যাইতেছে তখন তখন 2, 3, 4 ইত্যাদি গুনিয়া যাও। এইভাবে 19 বার দোলন শেষ হইলে, পরের বারে যথা-সময়ে স্টপ ওয়াচ বন্ধ করিবার জন্য প্রস্তুত হও এবং 20 বারের বার স্টপ ওয়াচ বন্ধ করিয়া দাও। স্টপ ওয়াচ হইতে 20 বার দোলনের যে সময় পাওয়া গেল তাহাকে 20 দ্বারা ভাগ করিলে 1 বার দোলনের সময় বা দোলকের পর্যায়-কাল নির্ণীত হইবে।

দ্রষ্টব্য—বিশ্রাম-স্থান অতিক্রম করিয়া ডান দিকের পরিবর্তে প্রতি বার বাম দিকে যাইবার সময়েও দোলন গুনিয়া গেলে একই ফল হইবে।

বিশ্রাম-স্থানের পরিবর্তে ডান দিকের শেষ প্রান্ত হইতে বাম দিকের শেষ প্রান্তে পৌছিয়া আবার ডান দিকের শেষ প্রান্তে পৌছিলে 1 বার দোলন শেষ হইবে। সুতরাং যে কোন এক প্রান্তে যখন দোলক আসিবে তখন স্টপ ওয়াচ চালাইয়া পর পর যত বার ঐ প্রান্তে দোলক আসে ততবার গুনিয়া গিয়া 20 বারের দোলনের সময় মাপা চলিবে।

দোলকের পর্যায়-কাল বা পিরিয়ড সম্পর্কে এই চারিটি নিয়ম আছে :

(1) সময়ের নিয়ম (Law of Isochronism)—দোলনের বিস্তার অল্প হইলে (দোলন বিন্দু প্রায় সরলরেখাক্রমে চলিতেছে মনে হইলে) দোলনের সময় বিস্তারের উপর নির্ভর করে না। অর্থাৎ, ঐ সীমার মধ্যে থাকিলে বিস্তার কম হউক অথবা বেশী হউক, ইহাতে সমান সংখ্যক দোলনের সময় সমান হইবে।

পরীক্ষা—পূর্বের পরীক্ষায় নির্দেশিত উপায়ে যখন দোলন বিন্দু সরলরেখাক্রমে চলিতেছে বলিয়া মনে হইবে তখন 20 বার দোলনের সময় স্টপ ওয়াচের সাহায্যে

লক্ষ্য কর। 20 বার দুলিবার পর বিস্তার আপনা হইতেই একটু কমিবে। তখন আবার 20 বারের দোলন-সময় আগের মত লক্ষ্য কর। দেখিবে উভয় ক্ষেত্রে সময় সমানই লাগিতেছে।

(2) **দৈর্ঘ্যের নিয়ম (Law of Length)**—দোলকের দৈর্ঘ্য (বিলম্বন বিন্দু হইতে দোলন বিন্দুর দূরত্ব) যে অনুপাতে বাড়ে বা কমে, দোলনের সময় বা দোলকের পর্যায়-কাল উহার বর্গমূলের অনুপাতে বাড়ে বা কমে।

ইহার অর্থ এই যে, যদি কোন দোলকের দৈর্ঘ্য 4 গুণ করা যায় তবে উহার দোলনের সময় 2 গুণ হইবে; দৈর্ঘ্য 9 গুণ করিলে দোলনের সময় 3 গুণ হইবে ইত্যাদি। কিন্তু দৈর্ঘ্য সামান্য একটু বাড়াইলে বা কমাইলেও দোলনের সময় একই নিয়মে বাড়বে বা কমিবে।

এই নিয়মকে প্রতীক দ্বারা প্রকাশ করিলে $\frac{l}{T^2}$ = ধ্রুবক, এইরূপে প্রকাশ করা যায়। l = দোলকের দৈর্ঘ্য এবং T একবার দোলনের সময় বা পর্যায়-কাল।

এই নিয়ম প্রমাণ করিতে হইলে নিম্নলিখিতরূপ পরীক্ষা করিতে হইবে।

পরীক্ষা—দোলকের পিণ্ডটির ব্যাস দুইটি কাঠের ব্লকের সাহায্যে আগে নির্ণয় কর। ইহা হইতে (2 দ্বারা ভাগ করিয়া) ব্যাসার্ধ নির্ণয় করিয়া লিখিয়া রাখ। মনে কর উহা যেন 1·2 সে.মি. হইল।

এখন পিণ্ডে সংযুক্ত হুকসুদ্ধ সুতার দৈর্ঘ্য বিলম্বন বিন্দু পর্যন্ত একটি মিটার স্কেলের সাহায্যে এমনভাবে মাপিয়া লও যে, উহা যেন 98·8 cm. হয়, সেই অবস্থায় উপরের হুক হইতে সুতাটি ঝুলাইয়া রাখ। লম্বা সুতা লইয়া দৈর্ঘ্য যথাযথভাবে ঠিক করিয়া অতিরিক্ত সুতা কাঠের ফ্রেমের এক পাশে জড়াইয়া রাখা যায়।

এই ব্যবস্থায় দোলকের দৈর্ঘ্য হইবে 98·8 + 1·2) cm. বা 100 cm.

উপরি-উক্ত নিয়ম অনুযায়ী 20 বারের সময় লক্ষ্য করিয়া দোলকের দোলন-সময় স্থির কর। ঐ সময় প্রায় 2 সেকেণ্ডের মত হইবে।

সুতরাং $\frac{l}{T^2} = \frac{100}{4} = 25$ বা ইহার খুব কাছাকাছি সংখ্যা হইবে।

এইবার সুতার দৈর্ঘ্য এমনভাবে পরিবর্তিত কর যেন মোট দৈর্ঘ্য = 90 cm. হয়। এখন আবার 20 বারের দোলন-সময় দেখিয়া 1 বারের সময় নির্ণয় কর। ঐ সময় 1·9 সেকেণ্ডের মত হইবে।

$$\text{সুতরাং } \frac{l_1}{T_1^2} = \frac{90}{(1{\cdot}9)^2} = 24{\cdot}9$$

এইভাবে দোলকের দৈর্ঘ্য 80 সে.মি., 70 সে.মি., 60 সে.মি. লইয়া প্রত্যেক বার দৈর্ঘ্যকে সময়ের বর্গ দ্বারা ভাগ কর, ভাগফল প্রত্যেক ক্ষেত্রে মোটামুটি একই হইবে।

দ্রষ্টব্য—পৃথিবীর বিভিন্ন স্থানে এই পরীক্ষা করিলে ধ্রুবকের মান বিভিন্ন হইবে।

(3) ভরের নিয়ম (Law of Mass)—দোলকের পর্যায়-কাল ইহার পিণ্ডের ভর বা কি বস্তু দ্বারা পিণ্ড নির্মিত হইয়াছে উহার উপর নির্ভর করে না।

একই দৈর্ঘ্যের দোলক প্রস্তুত করিবার জন্য লোহা, তামা, সীসা প্রভৃতি যে কোন প্রকার বস্তু ব্যবহার করিলে দোলকের পর্যায়-কাল বা পিরিয়ডের কোন পার্থক্য লক্ষ্য করা যায় না।

(4) অভিকর্ষের নিয়ম (Law of Gravity)—দোলকের দুলিবার আরও একটি নিয়ম আছে। পৃথিবীর বিভিন্ন স্থানে একই দৈর্ঘ্যের দোলকের পর্যায়-কাল সমান হইবে না, যে স্থানে পৃথিবীর আকর্ষণ বেশী, সেই স্থানে দোলন সময় বা পর্যায় কাল কম হইবে।

একই দৈর্ঘ্যের দোলকের পর্যায়-কাল, পৃথিবীর বিভিন্ন স্থানে অভিকর্ষজ ত্বরণের ব্যস্ত বর্গানুপাতিক হইয়া থাকে।

সরল দোলকের পর্যায়-কাল T, দৈর্ঘ্য l এবং কোন স্থানের অভিকর্ষজ ত্বরণ g হইলে $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ হইয়া থাকে।

প্রকৃতপক্ষে এই সূত্র হইতে পূর্বের নিয়মগুলি পাওয়া যায়।

সেকেণ্ডস পেণ্ডুলাম ও ইহার দৈর্ঘ্য (Seconds Pendulum and its Length)

সংজ্ঞা—যে সরল দোলকের পর্যায়-কাল 2 সেকেণ্ড তাহাকে সেকেণ্ডস পেণ্ডুলাম বলা হয়।

$$T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$ এই সমীকরণে T = 2 বসাইয়া আমরা পাই

$$2=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

অথবা, $$1=\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

$$1^2=\pi^2\frac{l}{g} \quad \therefore \; l=\frac{g}{\pi^2}.$$

যদি কোন স্থানে gর মান 981 সে.মি./সেকেণ্ড² হয়, তবে

$$l=\frac{981}{\pi^2}=\frac{981}{9{\cdot}87}=99{\cdot}39 \text{ cm.}$$

প্রশ্ন

1. পর্যাবৃত্ত গতির উদাহরণ দাও। সাধারণ পর্যাবৃত্ত গতি এবং দোলকের পর্যাবৃত্ত গতির মধ্যে পার্থক্য কি ?

(Give illustrations of periodic motion. What is the difference between ordinary periodic motion and the motion of the bob of a pendulum ?)

2. সরল দোলক দুলিবার সময় যে সকল নিয়ম মানিয়া চলে, সেইগুলি বিবৃত কর।

(State the laws of Simple Pendulum.)

3. সরল দোলকের সমান সমান সময়ের নিয়ম এবং দৈর্ঘ্যের নিয়মের সত্যতা কিভাবে পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করিবে ?

(How are the laws of isochronism and of length of a simple pendulum verified) ?

4. সেকেণ্ডস পেণ্ডুলাম বলিলে কি বুঝায় ? যে স্থানে অভিকর্ষজ ত্বরণের মান 980 সে.মি./সেকেণ্ড^2 সেই স্থানে ঐ দোলকের দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

(What is meant by a seconds pendulum ? Calculate the length of such a pendulum where the acceleration due to gravity is 980 cm./sec.^{2}) [*Ans.* 99·29cm.

দ্বিতীয় অধ্যায়

ঘনত্ব ও আপেক্ষিক গুরুত্ব

2.1. ঘনত্ব (Density) :

কোন বস্তুর ঘনত্ব বলিলে উহার প্রতি একক আয়তনে ভর কত তাহাই বুঝায়। অথবা সংক্ষেপে **প্রতি একক আয়তনের ভরকে ঐ বস্তুর ঘনত্ব বলে।**

মনে কর, একখণ্ড নিরেট সীসা এমনভাবে প্রস্তুত করা হইল যে উহার দৈর্ঘ্য, প্রস্থ এবং উচ্চতা প্রত্যেক দিকের মাপ 1 সে.মি.। ∴ ইহার আয়তন 1 ঘন সেণ্টিমিটার। ইহাকে সাধারণ তুলাযন্ত্রে ওজন করিলে দেখা যাইবে যে, ইহার ভর 11·36 গ্রাম হইয়াছে। সুতরাং আমরা বলিব, সীসার ঘনত্ব প্রতি ঘন সেণ্টিমিটারে 11·36 গ্রাম।

যদি 1 ফুট দৈর্ঘ্য, 1 ফুট প্রস্থ, 1 ফুট উচ্চতাবিশিষ্ট একখণ্ড সীসা ওজন করা হয় তবে দেখা যাইবে যে, ইহার ভর হইবে 710 পাউণ্ড। সুতরাং সীসার ঘনত্ব প্রতি ঘন ফুটে 710 পাউণ্ড।

অর্থাৎ, C. G. S. প্রণালীতে প্রকাশ করিলে সীসার ঘনত্ব প্রতি ঘন সেণ্টিমিটারে 11·36 গ্রাম ; এবং F. P. S. প্রণালীতে প্রকাশ করিলে সীসার ঘনত্ব প্রতি ঘন ফুটে 710 পাউণ্ড।

এখন ঘনত্ব জানিবার জন্য প্রকৃতপক্ষে 1 সে.মি. দৈর্ঘ্য, 1. সে.মি. প্রস্থ, 1 সে.মি. উচ্চতা যুক্ত বস্তু অথবা 1 ঘন সে মি. আয়তনবিশিষ্ট বস্তুর আবশ্যক নাই।

কারণ, ঐ সীসাটুকুকে পিটাইয়া অন্য আকৃতি দিলে ভর 11·36 গ্র্যামই থাকিবে এবং অন্য আকৃতিবিশিষ্ট হইলেও মেজারিং গ্লাসের জলে ডুবাইয়া ইহার আয়তন নির্ণয় করিলে উহা 1 ঘন সেন্টিমিটার জলই অপসারণ করিবে।

আবার যদি আমরা যে কোন আকৃতিবিশিষ্ট 56·8 গ্র্যাম সীসা লই এবং উহার আয়তন মেজারিং গ্লাস দ্বারা নির্ণয় করি তবে উহার আয়তন 5 ঘন সেন্টিমিটার পাওয়া যাইবে। সুতরাং 5 ঘন সেন্টিমিটার সীসার ভর 56·8 গ্র্যাম।

∴ 1 ঘন সে.মি. সীসার ভর হইবে $\frac{56·8}{5} = 11·36$ গ্র্যাম।

সুতরাং সাধারণভাবে বলা চলে যে,

$$\text{কোন বস্তুর ঘনত্ব} = \frac{\text{ঐ বস্তুর একখণ্ডের ভর}}{\text{ঐ বস্তুখণ্ডের আয়তন}}$$

যদি কোন বস্তু খণ্ডের (body) ভর m হয় এবং উহার আয়তন v হয় তবে ঐ বস্তুর ঘনত্ব ρ (রো) এই সমীকরণ দ্বারা প্রকাশিত হইবে—

$$\rho = \frac{m}{v} \quad \therefore \quad m = v\rho$$

সংক্ষেপে, $\text{ঘনত্ব} = \frac{\text{ভর}}{\text{আয়তন}}$

$$\therefore \quad \text{ভর} = \text{আয়তন} \times \text{ঘনত্ব}$$

C.G.S. প্রণালীতে জলের ঘনত্ব প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে 1 গ্র্যাম।

F.P.S. প্রণালীতে জলের ঘনত্ব প্রতি ঘন ফুটে 62·5 পাউণ্ড।

অঙ্ক (1) এক খণ্ড লোহার ওজন 28·16 গ্র্যাম। একটি মেজার গ্লাসে যে জল আছে উহার প্রথম পাঠ 25·2 ঘন সে মি.। উহার মধ্যে ঐ লোহা ফেলিয়া দেওয়ার পর ইহার পাঠ হইল 28·8 ঘন সে. মি.। লোহার ঘনত্ব কত ?

মেজার গ্লাসের শেষ পাঠ = 28·8 ঘন. সে. মি.

„ „ প্রথম „ = 25·2 „ „ „

পার্থক্য = 3·6 „ „ „

∴ লোহার আয়তন 3·6 ঘন সে.মি.।

∴ লোহার ভর = আয়তন × ঘনত্ব

$28·26 = 3·6 \times \rho$ গ্র্যাম

∴ $\rho = 7·85$ গ্র্যাম প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে।

তরল বস্তুর ঘনত্বও ঐ একই উপায়ে নির্ণয় করা হয়।

অঙ্ক (2) একটি ছোট মেজার গ্লাসের ওজন 25·75 গ্র্যাম। ইহার মধ্যে কেরোসিন ঢালিয়া দেখা গেল 15 ঘন সে.মি. এর দাগ পর্যন্ত কেরোসিনের লেভেল

উঠিয়াছে। ইহাকে তখন আবার ওজন করা হইল। এখন ওজন হইল 37·86 গ্র্যাম। কেরোসিনের ঘনত্ব কত ?

পাত্রের ওজন + কেরোসিনের ওজন = 37·86 গ্র্যাম

পাত্রের ওজন = 24·75 ,,

∴ কেরোসিনের ওজন = 12·11 গ্র্যাম

কেরোসিনের আয়তন = 15 ঘন সে. মি.

∴ ঘনত্ব $\frac{12{\cdot}11}{15}$ = ·807 গ্র্যাম প্রতি ঘন সে. মি.।

দ্রষ্টব্য—এস্থলে 'ভর' অর্থে ওজন শব্দটি ব্যবহার করা হইয়াছে।

2.11. ঘনত্ব নির্ণয় ঃ

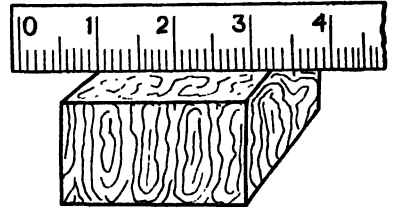
যাহা আগে বলা হইয়াছে তাহা হইতেই বুঝা যাইবে যে, কোন বস্তুর ঘনত্ব নির্ণয়ের জন্য সেই বস্তুর একখণ্ডের ভর এবং আয়তন জানা আবশ্যক।

ভর জানিবার জন্য আমরা সাধারণত সাধারণ তুলাযন্ত্র ব্যবহার করিয়া থাকি। ইহার সাহায্যে কি করিয়া বস্তুর ভর নির্ণয় করিতে হয় তাহা আগেই বলা হইয়াছে।

বস্তু কোন নির্দিষ্ট জ্যামিতিক্ আকৃতিবিশিষ্ট হইলে ইহার এক বা একাধিক দিকের মাপ জানিয়া ইহার আয়তন নির্ণয় করা সম্ভবপর।

ঘনত্ব নির্ণয়ের পরীক্ষা ঃ

(1) একটি চৌপলাকৃতি কাঠের টুকরার ঘনত্ব নির্ণয় করিতে হইবে—

চিত্রে প্রদর্শিত মতে চৌপলটির উপর খাড়াভাবে স্কেল বসাও যেন উহার একটি দাগ ব্লকের একটি শিরের সহিত মিলিয়া থাকে এবং ঐ শিরের সমকোণে অবস্থিত শিরের সহিত স্কেল সমান্তরাল হয়। স্কেল হইতে যথা নিয়মে দৈর্ঘ্য পড়িয়া লও। কাঠের চৌপলটির বিভিন্ন স্থানে অনুরূপ ভাবে স্কেল স্থাপন করিয়া দুই প্রান্তের অবস্থানে স্কেল পাঠ কর। প্রত্যেক অবস্থান স্কেলের দুই পাঠের বিয়োগফল চৌপলের দৈর্ঘ্য হইবে। তিনবার ঐভাবে দৈর্ঘ্য মাপিয়া গড় নির্ণয় কর। প্রস্থ এবং উচ্চতার মাপও অনুরূপভাবে নির্ণয় কর। প্রত্যেক মাপ সেন্টিমিটার ও মিলিমিটারে লইবে। প্রত্যেক মাপ সর্বশেষে সেন্টিমিটারে প্রকাশ করিয়া দৈর্ঘ্য, প্রস্থ এবং উচ্চতার মাপের গুণফল নির্ণয় কর। গুণফল ঐ চৌপলের আয়তন ঘন সেন্টিমিটারে প্রকাশ করিবে।

স্কেলের সাহায্যে চৌপলের দৈর্ঘ্য মাপা

এক্ষণে চৌপলটি তুলার সাহায্যে ওজন কর। উহার ভর পাওয়া যাইবে।

প্রাপ্ত ভরকে আয়তন দ্বারা ভাগ করিলে ভাগফল প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে ঐ কাঠের গড় ঘনত্ব নির্দেশ করিবে।

স্লাইড ক্যালিপার্সের সাহায্যে প্রত্যেক দিকের দৈর্ঘ্য নির্ণয় করিয়া আরও সঠিক-ভাবে কাঠের ব্লকটির দৈর্ঘ্য, প্রস্থ ও উচ্চতা মাপা যাইবে।

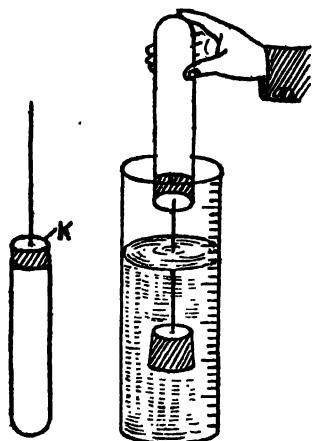
(2) একটি কাঁচের বলের ঘনত্ব নির্ণয় করিতে হইবে—

কাঠের ব্লকের সাহায্যে কাঁচের বলটির ব্যাস এবং তাহা হইতে ব্যাসার্ধ নির্ণয় কর। ব্যাসার্ধ যেন r সে মি. হইল। তাহা হইলে বলের আয়তন হইবে $\frac{4}{3}\pi r^3$ ঘন সেন্টিমিটার। বলটিকে এখন তুলা দ্বারা ওজন করিয়া লইলে উহার ভর জানা যাইবে। মনে কর প্রাপ্ত ভর m গ্র্যাম।

$$\therefore \quad \rho = \frac{m}{\frac{4}{3}\pi r^3} \text{ গ্র্যাম/ঘন সে. মি.}$$

দ্রষ্টব্য—প্রতি সেন্টিমিটারে 2·5 গ্র্যাম এই কথাটাকে সংক্ষেপে 2·5 গ্র্যাম/ঘন. সে. মি. এইভাবে লেখা যায়।

(3) বিষম আকৃতিবিশিষ্ট বস্তুর ঘনত্ব নির্ণয়—

মেজারিং সিলিণ্ডারের সাহায্যে ঐপ্রকার বস্তুর আয়তন কিরূপে নির্ণয় করা যায় তাহা পূর্বেই বলা হইয়াছে। সেই উপায়ে বস্তুটির আয়তন নির্ণয় কর। পরে উহাকে তুলা দ্বারা ওজন করিয়া ভর নির্ণয় কর।

কর্কের আয়তন নির্ণয়

(4) এক টুকরা কর্কের ঘনত্ব নির্ণয়ঃ

কর্কের টুকরাটি ওজন করিয়া উহার ভর নির্ণয় কর।

এক্ষণে একটি পরখ নলের মুখে অন্য একটি কর্ক আঁটিয়া লও। ঐ কর্কে খুব সরু একটি স্চ পরখ-নলের দৈর্ঘ্যের সমান্তরালে পুঁতিয়া রাখ।

এক্ষণে মেজারিং গ্লাসে জল লইয়া উহার লেভেল পাঠ কর। পরে ইহার উপর ওজন করা কর্কের টুকরাটি ছাড়িয়া দাও; পরখ-নল ধরিয়া স্চের অগ্রভাগ দ্বারা ঠেলিয়া কর্কটিকে জলের মধ্যে ডুবাইয়া রাখ। জলের লেভেল আবার পড়িয়া লও। ঐ দুই লেভেলের পার্থক্য কর্কের আয়তন হইবে। স্চ যতটা ডুবিবে তাহার আয়তন কর্কের আয়তনের তুলনায় নগণ্য হইবে। এই উপায়ে কর্কের আয়তন জানা হইলে এক্ষণে ঘনত্ব নির্ণয় করা চলিবে।

(5) **এক টুকরা ফট্‌কিরির ঘনত্ব নির্ণয়—**

ফট্‌কিরির টুকরা আগে ওজন কর। ইহাতে উহার ভর জানা যাইবে।

ফট্‌কিরি কেরোসিনের মধ্যে গলে না। মেজারিং সিলিণ্ডারে জলের পরিবর্তে কেরোসিন লইয়া প্রথমে লেভেল পড়িয়া লইয়া পরে ফট্‌কিরির টুকরা উহাতে ডুবাইয়া এখন আবার লেভেল পড়িলেই ফট্‌কিরির আয়তন জানা যাইবে।

(6) **তরল পদার্থের ঘনত্ব নির্ণয়—**

একটি বীকারে প্রদত্ত তরল পদার্থ একটু বেশী পরিমাণে লইয়া বীকার সহ তরল পদার্থের ভর তুলা দ্বারা নির্ণয় কর। মনে কর ঐ ভর যেন w_1 গ্র্যাম।

এক্ষণে একটি শুষ্ক মেজারিং সিলিণ্ডারে বীকার হইতে প্রায় অর্ধেক পরিমাণ তরল পদার্থ সাবধানে ঢালিয়া দাও—বাহিরে যেন এক ফোঁটাও না পড়ে। মেজারিং সিলিণ্ডারের লেভেল পড়িয়া ঐটুকু তরল পদার্থের আয়তন নির্ণয় কর। মনে কর ইহা যেন v ঘন সে.মি.।

আবার বীকার সহ বাকী তরল পদার্থটুকু তুলা দ্বারা ওজন করিয়া ভর নির্ণয় কর।

মনে কর ঐ ভর যেন w_2 গ্র্যাম।

∴ মেজারিং গ্লাসের তরল পদার্থের ভর $= w_1 - w_2$ গ্র্যাম।

আয়তন $= v$ ঘন সে. মি.

∴ ঘনত্ব $= \frac{w_1 - w_2}{v}$ গ্র্যাম/ঘন সে. মি.।

2.12. আপেক্ষিক গুরুত্ব (Specific Gravity):

কোন বস্তু সম আয়তন জলের তুলনায় যতগুণ ভারী তাহা যে সংখ্যা দ্বারা প্রকাশিত হয় ঐ সংখ্যা ঐ বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্দেশ করে।

সুতরাং কোন বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব

$$= \frac{\text{বস্তুর ওজন}}{4^\circ\text{C-এ সম আয়তন জলের ওজন}^*}$$

"সোনার আপেক্ষিক গুরুত্ব 19" বলিলে আমরা এই বুঝি যে, কোন নির্দিষ্ট আয়তনের সোনা সম আয়তন জলের তুলনায় 19 গুণ ভারী; সেইরূপ "লোহার আপেক্ষিক গুরুত্ব 7·85" বলিলে বুঝিব যে নির্দিষ্ট আয়তনের লোহা সম আয়তন জলের তুলনায় 7·85 গুণ ভারী।

---

*জলের ঘনত্ব উষ্ণতার সহিত পরিবর্তিত হয় বলিয়া জলের উষ্ণতা উল্লেখ করা আবশ্যক। জল ভিন্ন অন্য তরল লইলে ঐ অনুপাত ঐ তরলের সম্পর্কে বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্দেশ করিবে।

আপেক্ষিক গুরুত্বের সংজ্ঞা হইতেই বুঝা যায় যে জলের আপেক্ষিক গুরুত্ব হইবে 1 ; কারণ সম আয়তন জলের তুলনায় জল সমান ভারী বা 1 গুণ ভারী।

"মোমের আপেক্ষিক গুরুত্ব ·9" বলিলে বুঝিব যে মোম সম আয়তন জলের তুলনায় ·9 গুণ বা $\frac{9}{10}$ গুণ ভারী—অর্থাৎ, মোম জল অপেক্ষা হালকা। সেইরূপ "কর্কের আপেক্ষিক গুরুত্ব ·25" বলিলে বুঝিব যে কর্ক সম আয়তন জলের তুলনায় $\frac{1}{4}$ গুণ ভারী—অর্থাৎ, জলের তুলনায় অনেক হালকা।

এক ঘন সেন্টিমিটার জলের ভরকে এক গ্র্যাম বলা হয়। সুতরাং সোনা জলের তুলনায় 19 গুণ ভারী এই কথা জানা মাত্রই আমরা বুঝিতে পারি যে 1 ঘন সেন্টিমিটার আয়তনের সোনার ভর 19 গ্র্যাম হইবে ; অর্থাৎ সোনার ঘনত্ব প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে 19 গ্র্যাম। অথবা সাধারণ কথায় **যে বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব যত সেই বস্তুর 1 ঘন সেন্টিমিটারের ভর তত গ্র্যাম।**

আগে বলা হইয়াছে যে এক ঘন ফুট জলের ভর 62·5 পাউণ্ড। সুতরাং 1 ঘন ফুট সোনার ভর 62·5 × 19 পাউণ্ড হইবে, কারণ সোনা সম আয়তন জলের তুলনায় 19 গুণ ভারী। সুতরাং **যে বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব যত, প্রতি ঘনফুটে উহার ভর আপেক্ষিক গুরুত্বের 62·5 গুণ পাউণ্ড।**

অন্যভাবেও ঐ একই কথা প্রমাণ করা যায়। আপেক্ষিক গুরুত্বের সংজ্ঞা হইতে আমরা জানি—

$$\text{আপেক্ষিক গুরুত্ব} = \frac{\text{কোন বস্তুখণ্ডের ওজন}}{\text{সম আয়তন জলের ওজন}}$$

এখানে বস্তুখণ্ডের কত আয়তন নিতে হইবে তাহার কোন স্থিরতা নাই ; কিন্তু বস্তুখণ্ডের আয়তন যত, জলের আয়তন ঠিক তত হইলে ঐ বস্তুখণ্ডের ওজনকে ঐ আয়তন জলের ওজন দ্বারা ভাগ করিলেই ঐ ভাগফল ঐ বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্দেশ করিবে।

সুতরাং মনে করা যাক্ আমরা 1 ঘন সেন্টিমিটার আয়তনবিশিষ্ট বস্তুখণ্ড লইলাম।

$$\therefore \text{ আপেক্ষিক গুরুত্ব} = \frac{\text{বস্তুর 1 ঘন সেন্টিমিটার আয়তনের ওজন}}{\text{1 ঘন সেন্টিমিটার জলের ওজন}}$$

$$= \frac{\text{1 ঘন সেন্টিমিটার বস্তুর ভর}}{\text{1 ঘন সেন্টিমিটার জলের ভর}}$$

$$= \frac{\text{C. G. S. প্রণালীতে বস্তুর ঘনত্ব}}{\text{1 গ্র্যাম}}$$

∴ C. G. S. প্রণালীতে বস্তুর ঘনত্ব

=আপেক্ষিক গুরুত্ব × 1 গ্র্যাম

=আপেক্ষিক গুরুত্ব যত, তত গ্র্যাম প্রতি ঘ. সেন্টিমিটারে।

সেইরূপ,

$$\text{আপেক্ষিক গুরুত্ব} = \frac{\text{বস্তুর 1 ঘন ফুট আয়তনের ভর}}{\text{1 ঘন ফুট জলের ভর}}$$

$$= \frac{\text{F. P. S প্রণালীতে বস্তুর ঘনত্ব}}{\text{62·5 পাউণ্ড}}$$

∴ F. P. S. প্রণালীতে বস্তুর ঘনত্ব

=আপেক্ষিক গুরুত্ব × 62·5 পাউণ্ড

=আপেক্ষিক গুরুত্ব যত তাহার 62·5 গুণ পাউণ্ড প্রতি ঘন ফুটে।

সুতরাং, যে কোন প্রণালী অনুসারে লেখা চলে

$$\text{আপেক্ষিক গুরুত্ব} = \frac{\text{বস্তুর এক আয়তনের ভর}}{\text{জলের এক আয়তনের ভর}}$$

$$= \frac{\text{বস্তুর ঘনত্ব}}{\text{জলের ঘনত্ব}}.$$

সুতরাং ইহাও বলা যায় যে জলের ঘনত্বের তুলনায় বস্তুর ঘনত্ব কত, কোন বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব তাহাই নির্দেশ করে।

কঠিন ও তরল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব বলিলে সম আয়তন জলের তুলনায় ঐ পদার্থ কত গুণ ভারী তাহাই বুঝায়; কিন্তু **বায়বীয় পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব** বলিলে সাধারণত কোন বায়বীয় বস্তু সম আয়তন হাইড্রোজেনের তুলনায় কত গুণ ভারী তাহাই বুঝায়। ঐ সংখ্যাকে **বাষ্পীয় ঘনত্ব (Vapour density)** বলা হয়।

2.13. আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়ঃ

আগে যাহা বলা হইয়াছে তাহা হইতে বুঝিবে যে, কোন বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিতে হইলে সাক্ষাৎ বা পরোক্ষভাবে নির্দিষ্ট আয়তনের ওজন (ভর) এবং সম আয়তন জলের ওজন (ভর) নির্ণয় করিতে হইবে। এখন আমরা যে সকল প্রণালীর কথা উল্লেখ করিব তাহাতে সাক্ষাৎভাবে বস্তুর ওজন এবং সম আয়তন জলের ওজন নির্ণয় করিতে হইবে। পরের অধ্যায়ে ঐগুলি কি ভাবে পরোক্ষ উপায়ে নির্ণয় করা যায় তাহা বলা হইবে।

(1) C. G. S. প্রণালীতে কোন বস্তুর প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে ঘনত্ব যত গ্র্যাম, উহার আপেক্ষিক গুরুত্ব তত শুদ্ধ সংখ্যা। সুতরাং আগে বর্ণিত সকল

উপায়ে C.G.S. প্রণালীতে ঘনত্ব নির্ণয় করিলেই প্রকারান্তরে আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণীত হইল।

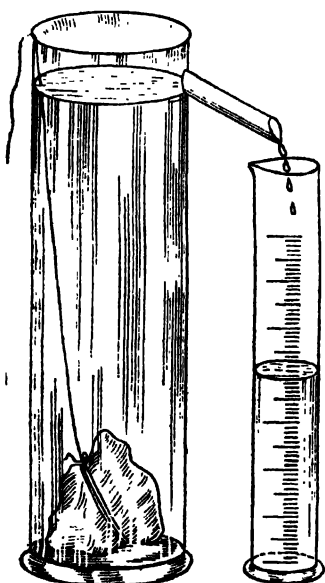
আপেক্ষিক গুরুত্বের সংজ্ঞা হইতে এইভাবে আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করা চলে।

(2) জল অপেক্ষা ভারী বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় (ভারী বস্তুটি জলে অদ্রবণীয়)—

বস্তুটিকে ওজন করিয়া উহার ভর নির্ণয় কর। মনে কর ঐ ভর w_1

এক্ষণে একটি পার্শ্বনলযুক্ত সিলিণ্ডারে ধীরে ধীরে জল ঢালিয়া এমন অবস্থায় আন যে পার্শ্বনল হইতে ফোঁটা ফোঁটা জল পড়িয়া শেষ পর্যন্ত জল পড়া বন্ধ হইয়াছে।

জল অপসারণ দ্বারা আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়

এক্ষণে পার্শ্বনলের নীচে একটি পূর্বে ওজন করা পাত্র (ওজন w_2 ধর) বসাও এবং কঠিন পদার্থটি একটি সরু সুতা দ্বারা বাঁধিয়া ধীরে ধীরে পার্শ্বনলযুক্ত পাত্রের জলের মধ্যে ডুবাইয়া দাও। পার্শ্বনল হইতে জল বাহির হইয়া ঐ পাত্রে পড়িবে। জল পড়া বন্ধ হইলে পাত্রটি আবার নিয়া ওজন কর। (মনে কর ঐ ওজন w_2)। পাত্রের দুইবার ওজনের পার্থক্য $(w_2 - w_3)$ হইতে অপসারিত জলের ওজন পাওয়া যাইবে। কিন্তু অপসারিত জলের আয়তন বস্তুর আয়তনের সমান। সুতরাং বস্তুর সম আয়তন জলের ওজন পাওয়া গেল $(w_2 - w_3)$

$$\therefore \text{ আপেক্ষিক গুরুত্ব} = \frac{w_1}{w_2 - w_3}$$

(3) তরল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় :

ইহার জন্য বিশেষভাবে নির্মিত আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতল (Specific gravity bottle) ব্যবহার করা যায়।

চিত্রে প্রদর্শিত আকারের একটি কাঁচের বোতলকে আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতল বলা হয়। ইহার মুখ একটি কাঁচের ছিপি দ্বারা বন্ধ করা যায়; ঐ ছিপির ভিতর দিয়া খুব সূক্ষ্ম একটি ছিদ্র আছে। বোতলটি কোন তরল পদার্থ দ্বারা পূর্ণ করিয়া ঐ ছিপি আঁটিয়া দিলে অতিরিক্ত তরল পদার্থ ছিপির সূক্ষ্ম ছিদ্রের ভিতর দিয়া বাহিরে

চলিয়া আসে। সুতরাং বোতলটি তরল পদার্থ দ্বারা সম্পূর্ণরূপে পরিপূর্ণ হয়। বোতলের ছিদ্র অতিশয় সূক্ষ্ম বলিয়া উহার ভিতর দিয়া তরল বায়বীয় হইয়া উড়িয়া যাইবে না বলা চলে।

তরল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিতে হইলে প্রথমে একটি শুষ্ক খালি বোতলের ছিপি আঁটিয়া দিয়া বোতল ওজন করিয়া লইতে হইবে। মনে কর ঐ ওজন w_1।

এক্ষণে তরল পদার্থ দ্বারা উহা পূর্ণ করিয়া ছিপি আঁটিয়া দাও। যদি তরল পদার্থ বাহিরে আসে, তবে উহা রুমাল দ্বারা ভালরূপে মুছিয়া লও। পরে ইহাকে ওজন কর। মনে কর ঐ ওজন w_2।

এইবার ঐ তরল পদার্থ বাহির করিয়া বোতলটিকে বারবার জল দ্বারা ধুইয়া পরিষ্কার করিয়া লইয়া জল পূর্ণ কর এবং আগের মত ছিপি বন্ধ করিয়া অতিরিক্ত জল বোতলের গা হইতে মুছিয়া লইয়া ইহাকে ওজন কর। মনে কর ঐ ওজন w_3।

বোতলে যে আয়তনের তরল পদার্থ ধরিয়াছে সেই আয়তনের জলও ধরিয়াছে। ঐ তরল পদার্থের ওজন $= w_2 - w_1$

সম আয়তন জলের ওজন $= w_3 - w_1$

$\therefore$ আপেক্ষিক গুরুত্ব $= \dfrac{w_2 - w_1}{w_3 - w_1}$

B-আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতল
S-কাচের ছিপি (stopper) উহাতে লম্বালম্বি আগা গোড়া সূক্ষ্ম ছিদ্র আছে।

(4) জলে দ্রবণীয় ভারী কঠিন বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়—ভারী কঠিন পদার্থ জলে দ্রবণীয় হইলে এমন একটি তরল পদার্থ লইতে হইবে যে উহা ঐ তরল পদার্থে দ্রবণীয় নহে। এক্ষণে আগের (2) নং পরীক্ষার ব্যবস্থায় জলের পরিবর্তে ঐ তরল পদার্থ ব্যবহার করিয়া ঐ তরল পদার্থের তুলনায় কঠিন পদার্থ কত গুণ ভারী তাহা (অর্থাৎ ঐ তরল পদার্থের তুলনায় আপেক্ষিক গুরুত্ব) নির্ণয় কর।

পরে ঐ তরল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব (3) নং পরীক্ষায় লিখিত উপায়ে স্থির কর। তাহা হইলে এই দুই আপেক্ষিক গুরুত্বের গুণফল কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব হইবে। কারণ, যদি জলের তুলনায় তরল পদার্থটি 2 গুণ ভারী হয় এবং ঐ তরল পদার্থের তুলনায় কঠিন বস্তুটি 6·4 গুণ ভারী হয় তবে কঠিন পদার্থটি জলের তুলনায় $6{\cdot}4 \times 2 = 12{\cdot}8$ গুণ ভারী হইবে।

অঙ্ক (1)—একখণ্ড সীসার ওজন 100 গ্র্যাম। ইহা পার্শ্বনলযুক্ত জলপূর্ণ পাত্রে ডুবাইলে 8·71 গ্র্যাম জল নির্গত হয়। সীসার আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় কর।

সীসার ওজন = 100 গ্র্যাম

সম আয়তন জলের ওজন = 8·71 গ্র্যাম

$\therefore$ আপেক্ষিক গুরুত্ব $= \frac{100}{8\cdot71} = 11\cdot48.$

(2) একটি আপেক্ষিক গুরুত্ব-বোতলের ওজন 21·32 গ্র্যাম। ইহাকে তুঁতের জল দ্বারা পূর্ণ করিলে ইহার ওজন হইল 50 গ্র্যাম। তুঁতের জল ফেলিয়া দিয়া শুধু জল দ্বারা ইহা পূর্ণ করিলে ইহার ওজন হইল 46·5 গ্র্যাম। ঐ তুঁতের জলের আপেক্ষিক গুরুত্ব কত?

তুঁতের জলের ওজন = 50 − 21·32 = 28·68 গ্র্যাম

সম আয়তন জলের ওজন = 46·5 − 21·32 = 25·18 গ্র্যাম

$\therefore$ তুঁতের জলের আপেক্ষিক গুরুত্ব $= \frac{28\cdot68}{25\cdot18}$

$= 1\cdot319$

(3) একটি আয়তাকৃতি পাত্রের দৈর্ঘ্য 4 ইঞ্চি, প্রস্থ 3 ইঞ্চি, বেধ 2 ইঞ্চি। ইহা পারদ দ্বারা পূর্ণ আছে। পারদের আপেক্ষিক গুরুত্ব 13·6 হইলে এবং এক ঘন ফুট জলের ওজন 62·5 পাউণ্ড হইলে ঐ পারদের ওজন কত?

পারদ পূর্ণ পাত্রের আয়তন = $4 \times 3 \times 2$ ঘন ইঞ্চি

= 24 ঘন ইঞ্চি

$= \frac{24}{12 \times 12 \times 12}$ ঘনফুট

$= \frac{1}{72}$ ঘন ফুট

1 ঘন ফুট পারদের ওজন = $62\cdot5 \times 13\cdot6$ পাউণ্ড

$\therefore$ $\frac{1}{72}$ ঘন ফুট পারদের ওজন $= \frac{62\cdot5 \times 13\cdot6}{72}$ পাউণ্ড

= 11·85 পাউণ্ড।

প্রশ্ন

1. ঘনত্বের সংজ্ঞা বল। C. G. S. এবং F. P. S. প্রণালীতে ঘনত্ব কিভাবে প্রকাশ করিবে? উদাহরণের সাহায্যে বুঝাইয়া দাও।

(Define Density. How will you express density in C. G. S. and F. P. S. units? Explain by examples.)

2. তোমাকে ছোট এক টুকরা পিতল দেওয়া হইল, ইহার ঘনত্ব কি করিয়া নির্ণয় করিবে?

(A small piece of brass is supplied to you. How would you find its density?)

3. কেরোসিনের ঘনত্ব নির্ণয় করিতে হইবে। কিভাবে সহজে উহা নির্ণয় করিবে বল।

(Density of kerosine is to be determined. Explain a simple method of doing it).

4. এক খণ্ড লোহার ওজন 92·44 গ্র্যাম এবং ইহার ঘনত্ব প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে 7·85 গ্র্যাম। একটি মেজারিং গ্লাসে জল আছে এবং ঐ জলের লেভেলের পাঠ 43·74 ঘন সে. মি.। ঐ লৌহখণ্ড ইহাতে ডুবাইলে মেজারিং গ্লাসের জলের লেভেলের পাঠ কত হইবে ?

(A piece of iron weighs 92·44 grams and its density is 7·85 gm. per c. c. The reading of the level of water in a measuring glass is 48·74 c. c. If the piece of iron is dropped in it what will be the reading of the level ?) [*Ans.* 55·52 c.c]

5. একটি আপেক্ষিক গুরুত্বের বোতলের ওজন 16·34 গ্র্যাম। ইহাকে জল দ্বারা পূর্ণ করিলে ইহার ওজন হয় 41·34 গ্র্যাম। এবং সালফিউরিক অ্যাসিড দ্বারা পূর্ণ করিলে ওজন হয় 60·46 গ্র্যাম। অ্যাসিডের ঘনত্ব নির্ণয় কর।

(A specific gravity bottle weighs 16·34 gm. When filled with water it weighs 41·34 gm. and when filled with sulphuric acid it weighs 60·46 gm. Determine the density of the acid). [*Ans.* 1·764 grams per c.c.]

6. আপেক্ষিক গুরুত্বের সংজ্ঞা বল। "রূপার আপেক্ষিক গুরুত্ব 10 5" বলিলে কি বুঝায় ?

(Define Specific Gravity. What is meant by the statement "the specific gravity of silver is 10·5" ?)

7. কোন বস্তুর ঘনত্ব ও আপেক্ষিক গুরুত্বের মধ্যে পার্থক্য কি ?

(State the difference between density and specific gravity.)

8. আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতলের সাহায্যে কিভাবে কেরোসিনের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করা যায় বর্ণনা কর।

(Describe how the specific gravity of kerosine can be determined with the help of a specific gravity bottle.)

9. এক খণ্ড মোমের আপেক্ষিক গুরুত্ব কিভাবে নির্ণয় করিবে বর্ণনা কর। এক খণ্ড মোমের ওজন 25·6 গ্র্যাম। ইহাকে সূচের সাহায্যে মেজারিং গ্লাসের জলে ডুবাইয়া দিলে ইহা 32 ঘন সে. মি. জল অপসারণ করিয়া নিজের স্থান করিয়া লয়। উহার আপেক্ষিক গুরুত্ব কত ?

(Describe how you would determine the sp. gr. of a piece of paraffin. A piece of wax weighs 25·6 gm. This is forced inside the water in a measuring cylinder and it is observed that it displaces 82 c. c. of water. What is its specific gravity ?) [*Ans.* ·8]

10. C. G. S. প্রণালীতে কোন বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব যত উহার ঘনত্ব ঠিক তত গ্র্যাম প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে। কিন্তু F. P. S. প্রণালীতে ঘনত্ব প্রকাশ করিতে হইলে উহাকে 62·5 দ্বারা গুণ করিয়া তত পাউণ্ড প্রতি ঘন ফুটে বলিতে হয়। কেন ?

(In C. G. S. system the density of a substance is numerically equal to as many grams per c. c. as its sp. gr. ; but if the density is to be expressed in F. P. S. system the specific gravity is to be multiplied by 62·5 and expressed as so many pounds per cu. ft. Explain why.)

Additional Numerical Problems

1. A lump of chalk weighs 2812 k. g. If its volume is 1 cubic metre what is the density ? [*Ans.* 2·312 gm./c.c.]

2. A bottle of mercury can contain 7480 grams of mercury. When it is filled with water it contains 550 grams of water. Another bottle of mercury contains 85 c.c. of mercury. What will be the weight of this mercury ?

[*Ans.* 1·156 k.g.]

3. What are the values of specific gravity and density of the mercury in the above question in C. G S. and F. P. S. Systems ?

[*Ans.* sp. gr. 13·6 in both systems. Density 13·6 gm./c.c. in C.G. S.system and 850 lbs./c. ft. in F. P. S, System.]

4. A cylinder of radius 3½ in and length 20 in. is filled with oil of specific gravity ·9. What weight of the oil will it contain ? [*Ans.* 25·05 lbs]

5. A bare copper wire forms a jumbled knot so that its length cannot be measured directly. The diameter of the wire is measured and found to be 2·1 m.m. and the density of copper is known to be 8·8. gm/c.c. What is the length of the wire if its weight is 30·47 grams. [*Ans.* 99·96 cm.]

6. The specific gravity of a liquid is 1·8 and that of another 1·2. What will be the specific gravity of a mixture of (i) equal volumes of the two liquids (ii) equal weights of the two liquids ? [*Ans.* (i) 1·5 ; (ii) 1·44]

7. 8·8 grams of carbon dioxide occupy 4·48 litres and 2 grams of Hydrogen occupy 22·4 litres under similar conditions of temperature and pressure. How many times heavier is carbon dioxide with respect to Hydrogen ? [*Ans.* 22]

8. An alloy is made of 64 parts by weight of gold and 6 parts by weight of copper. The density of gold is 19·82 grams per c.c. and that of copper is 8·9 grams per c.c. What is the specific gravity of the alloy ? [*Ans.* 18·42]

Public Examination Questions

1. A specific gravity bottle completely filled with water with mercury and with copper sulphate solution weighs respectively 45 gm., 279 gm. and 49 gm. Calculate the density of the solution, that of mercury being 13·6 gm/c.c.

[*Ans.* 1·215 gm./c.c.]
[H. S. 1960]

2. How would you determine the volume of an irregular piece of rock by means of a graduated cylinder partly filled with water ?

The length of a rectangular 100 lb. cake of ice is 1·75 ft. and it is 1 ft square at the end. Find the density of the cake. [*Ans.* 57·14 lb. per cu. ft.]
[I. Sc. Cal. 1947.]

3. Distinguish between specific gravity and density.

A flask when full of water weighs 75 gms ; and when full of mercury of density 13·6 gm/c.c., it weighs 705 gms and when full of sulphuric acid, it weighs 117 gms. Find the density of the acid. [*Ans.* 1·84 gm./c.c.]
[I. Sc. Cal. 1952]

তৃতীয় অধ্যায়

তরল বস্তুর চাপ

প্রথম পাঠ

3.1. চাপের অর্থ:

সাধারণ কথায় আমরা নানা ভাবে চাপ কথাটা ব্যবহার করি, আমরা বলি, 'কাগজ বাতাসে উড়িয়া যাইবে, উহা পেপার ওয়েট চাপা দিয়া রাখ।' অথবা 'আঙ্গুল কাটিয়া রক্ত ঝরিতেছে, চাপিয়া ধর' ইত্যাদি।

কিন্তু বৈজ্ঞানিক হিসাবে **চাপ (pressure)** কথার অর্থ আরও একটু পরিষ্কার-ভাবে বুঝা উচিত, ইহার জন্য আগে একটি সাধারণ পরীক্ষা করা যাইতে পারে।

পরীক্ষা—একটি গঁদের আঠার বড় খালি পাত্র লও। ইহার তলাটা মোটা এবং উপরের দিক ক্রমশ সরু এবং ইহার গলাটা বেঁটে হইলেও সমান মোটা। ঐ পাত্রের বাহিরের দিক ভাল করিয়া পরিষ্কার করিয়া মুছিয়া লও। এখন উহাকে ছোট ছোট লোহার টুকরা বা বালি দ্বারা পূর্ণ করিয়া উহার মুখে একটি উপযুক্ত কর্ক আঁটিয়া দাও। কর্কের যে অংশ বোতলের মুখ হইতে বাহির হইয়া থাকিবে তাহা একখানা ব্লেডের সাহায্যে বোতলের মুখের সঙ্গে সমান করিয়া কাটিয়া ফেল। ঐ অবস্থায় বোতলকে সাধারণভাবে এবং উল্টোভাবে, অর্থাৎ মুখের দিকটা নীচের দিকে দিয়া, বসানো যাইবে।

বোতল সোজাভাবে বসাইলে কাদার উপর যত চাপ পড়িবে উল্টোভাবে বসাইলে তাহা অপেক্ষা বেশী চাপ পড়িবে

এখন একটা গামলার মধ্যে উপযুক্ত নরম কাদা মাটি (অথবা প্ল্যাস্টিসিন plasticine) লইয়া উপরটা সমান করিয়া দাও। কাদার উপর বোতলটি সাধারণভাবে বসাও। লক্ষ্য কর বোতলের তলাটা কাদার মধ্যে অতি সামান্যই প্রবেশ করিয়াছে, এখন বোতলটা আবার উল্টাইয়া কাদার অন্য স্থানে বসাও। দেখিবে বোতলের গলাটা (এবং সম্ভবত আরও খানিকটা অংশ) কাদার মধ্যে ঢুকিয়া গিয়াছে।

বালিশুদ্ধ বোতলের ওজন উভয় ক্ষেত্রে সমান। কিন্তু সরু দিক নীচে থাকায় উহা মাটিতে বেশী ঢুকিয়া গেল, ইহার কারণ ওজন সমান হওয়া সত্ত্বেও শেষের বারে মাটিতে চাপ বেশী পড়িয়াছে।

হিসাবের সুবিধার জন্য মনে কর বোতলের গোল মুখটার ক্ষেত্রফল যত, বোতলের তলার ক্ষেত্রফল তাহার 4 গুণ। অর্থাৎ যদি বোতলের মুখের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল a বর্গ সেন্টিমিটার হয় তবে বোতলের তলার ক্ষেত্রফল $4a$ বর্গ সেন্টিমিটার হইবে।

বালি ভরা বোতলের ওজন w গ্র্যামের ওজনের সমান ধরা গেল। প্রথম যখন কাদাতে বোতলের তলাটা সংলগ্ন ছিল তখন কাদার প্রতি একক ক্ষেত্রফলে ওজন পড়িয়াছে $\frac{w}{4a}$; এবং যখন বোতলের মুখটা কাদাতে সংলগ্ন ছিল তখন প্রতি একক ক্ষেত্রফলে ওজন পড়িয়াছে $\frac{w}{a}=4\frac{w}{4a}$ । সুতরাং প্রতি একক ক্ষেত্রফলে বা প্রতি বর্গ সেন্টিমিটার স্থানে পূর্বের তুলায় 4 গুণ ওজন পড়িয়াছে এবং সেই কারণে বোতল শেষের ক্ষেত্রে মাটির মধ্যে বেশী ঢুকিয়া গিয়াছে। অর্থাৎ ওজন উভয় ক্ষেত্রে সমান থাকিলেও দ্বিতীয় ক্ষেত্রে চাপ বেশী পড়িয়াছে।

অনেক ক্ষেত্রে ওজনের জন্য কোন স্থানে চাপ পড়ে সত্য, কিন্তু হাতুড়ি দ্বারা দেওয়ালে লোহা ঠুকিবার সময় লোহাতে যে চাপ দেওয়া হয় বা দেওয়ালে যে চাপ পড়ে তাহা লোহার উপর ওজন চাপাইবার জন্য পড়ে না ; কিন্তু লোহার উপর বল-প্রয়োগ করিবার ফলেই পড়ে ; বল প্রয়োগ না করিলে চাপ পড়িবে না। ওজনও একপ্রকার বল—কোন বস্তুকে পৃথিবী যে বলে আকর্ষণ করে তাহাই বস্তুর ওজন।

সুতরাং **চাপ প্রতি একক ক্ষেত্রফলে প্রযুক্ত বলের পরিমাণ**। অর্থাৎ,

$$\text{চাপ}=\frac{\text{প্রযুক্ত বল}}{\text{যতটা স্থানের উপর ঐ বল প্রযুক্ত হইয়াছে তাহার ক্ষেত্রফল}}$$

অঙ্ক : (1) একটি লোহার চাকতির ওজন 2 কিলোগ্র্যাম এবং ব্যাসার্ধ 5 সে. মি.। ইহা টেবিলের উপর রাখিয়া পর পর ইহার উপর আরও ঐ প্রকার 5 খানা চাকতি বসানো হইল। ঐ লৌহখণ্ডগুলির নীচে টেবিলে কত চাপ পড়িতেছে ?

সর্বমোট 5 খানা চাকতির ওজন $5\times2=$ কিলোগ্র্যাম

$=10000$ গ্র্যাম।

টেবিলের ঐ স্থানের উপর যে বল ক্রিয়া করিতেছে তাহার মান 10000 গ্র্যাম-ভার।

টেবিলের উপর যত স্থানে চাপ পড়িতেছে তাহার ক্ষেত্রফল $\pi .\ 5^2$ বর্গ সে. মি.

$$\therefore\ \text{চাপ}=\frac{10000}{\pi\times25}\ \text{গ্র্যাম-ভার/বর্গ সে.মি.}$$

$= \frac{400}{\pi}$ গ্র্যাম-ভার/বর্গ সে. মি.

$= 127.27$ গ্রাম-ভার/বর্গ সে.মি.

(2) একটি সর্বত্র সমান মোটা কাঁচনলের ভিতরের ব্যাস 6 সে.মি. ; ইহার এক মুখ চেপটা এবং বন্ধ। খোলা মুখ উপরে রাখিয়া ইহাকে উল্লম্বভাবে দাঁড় করাইয়া ইহার মধ্যে 30 ইঞ্চি উচ্চতা পর্যন্ত পারদ ঢালিয়া দেওয়া হইল। পারদের জন্য পাত্রের নীচে চাপ কত ? পারদের আপেক্ষিক গুরুত্ব 13 6।

চোঙের যে পর্যন্ত পারদ দ্বারা পূর্ণ ইহার দৈর্ঘ্য 30 ইঞ্চি $= 2.5$ ফুট

$= 2.5 \times 30.48$ সে মি.

$= 76.3$ সে.মি.

চোঙের ব্যাস $= 6$ সে মি.

$\therefore$ ব্যাসার্ধ $= \frac{6}{2} = 3$ সে.মি.

$\therefore$ চোঙের অনু প্রস্থচ্ছেদ (cross-section) $= \pi.3^2$. বর্গ সে.মি.

$\therefore$ চোঙের যে পর্যন্ত পারদ দ্বারা পূর্ণ তাহার আয়তন $= \pi.3^2 \times 76.3$ ঘন সে. মি.

পারদের আপেক্ষিক গুরুত্ব 13.6

$\therefore$ C. G. S. প্রণালীতে ইহার ঘনত্ব 13.6 গ্র্যাম/ ঘন সে. মি.

$\therefore$ পারদের ভর $=$ আয়তন $\times$ ঘনত্ব

$= \pi.3^2 \times 76.3 \times 13.6$ গ্র্যাম

$\therefore$ ঐ পারদের ওজন $= \pi.3^2 \times 76.3 \times 13.6$ গ্র্যাম-ভার।

যতটা ক্ষেত্রফলের উপর ঐ ওজন কার্যকরী, তাহার পরিমাণ $\pi 3^2$ বর্গ সে. মি.

চাপ $= \frac{\text{প্রযুক্ত বল}}{\text{ক্ষেত্রফল}}$

$= \frac{\pi.3^2 \times 76.3 \times 13.6}{\pi.3^2}$ গ্র্যাম-ভার/বর্গ সে.মি.

$= 76.3 \times 13.6$ গ্র্যাম-ভার/বর্গ সে. মি.

$= 1027.68$ গ্র্যাম-ভার/বর্গ সে. মি.

(3) আগের প্রশ্নের চোঙটা আরও মোটা বা সরু হইলে, কিন্তু পারদস্তম্ভের উচ্চতা একই হইলে চাপের প্রভেদ কি হইত ?

কিছুই হইত না। কারণ, যদি নলের ব্যাসার্ধ r সে. মি. হয় তবে প্রযুক্ত বল হিসাব করিবার সময় $\pi r^2 \times 76.3 \times 13.6$ গ্র্যাম-ভার পাওয়া যাইবে এবং যে

ক্ষেত্রফলের উপর উহা কার্যকরী হইতেছে তাহার পরিমাণ হইবে πr^2, সুতরাং আগের মত চাপ 76·3 × 13·6 গ্র্যাম-ভার/বর্গ সে. মি. হইবে।

(4) শহীদ-স্মৃতিদিবসে পাড়ার ছাত্ররা 2 ফুট দৈর্ঘ্য, 2 ফুট প্রস্থ এবং 10 ফুট উচ্চতাবিশিষ্ট একটি স্তম্ভ নির্মাণ করিয়াছে। যদি ইট, চুন, বালি প্রভৃতি স্তম্ভের উপকরণের গড় আপেক্ষিক গুরুত্ব 2·6 হয়, তবে ঐ স্তম্ভের নীচে চাপ কত ?

স্তম্ভের ক্ষেত্রফল 2 × 2 = 4 বর্গফুট

স্তম্ভের উচ্চতা 10 ফুট

∴ আয়তন = 4 × 10 = 40 ঘনফুট।

স্তম্ভের উপকরণের আপেক্ষিক গুরুত্ব = 2·6

" " ঘনত্ব = 2·6 × 62·5 পাউণ্ড প্রতি ঘনফুটে

∴ স্তম্ভের ভর = আয়তন × ঘনত্ব

= 40 × 2·6 × 62·5 পাউণ্ড

= 6500 পাউণ্ড

∴ 4 বর্গফুটের উপর যে বল ক্রিয়া করিতেছে তাহার মান 6500 পাউণ্ড-ভার।

$$\therefore \text{ চাপ} = \frac{6500}{4} \text{ পাউণ্ড-ভার/বর্গফুট}$$

= 1625 পাউণ্ড-ভার/বর্গফুট।

3.11. চাপ এবং ঘাত বা মোট চাপ (Pressure and Thrust)—

চাপ বলিলে আমরা প্রতি একক ক্ষেত্রফলে যে বল প্রযুক্ত হইতেছে তাহা বুঝি কিন্তু ঘাত বা মোট চাপ বলিলে কোন নির্দিষ্ট স্থানের ক্ষেত্রফল যতই হউক উহার উপর সম্পূর্ণ যত বল ক্রিয়া করিতেছে তাহাই বুঝি।

সুতরাং C. G. S. প্রণালীতে **চাপ** বলিলে প্রতি বর্গ সে. মিটারে যত গ্র্যাম-ভার বল প্রযুক্ত হইতেছে তাহাই বুঝায় এবং **মোট চাপ** বা ঘাত বলিলে চাপকে সম্পূর্ণ ক্ষেত্রফল দ্বারা গুণ করিলে যত হয় তত বুঝাইবে।

F.P.S. প্রণালীতে চাপ বলিলে প্রতি বর্গফুটে যত পাউণ্ড-ভার বল প্রযুক্ত হইতেছে তাহাই বুঝায় এবং মোট চাপ বা ঘাত বলিলে চাপ × সম্পূর্ণ ক্ষেত্রফল বুঝায়।

পূর্বের 1 নং উদাহরণে চাপের পরিমাণ 127·27 গ্র্যাম-ভার প্রতি বর্গ সেন্টিমিটারে। এবং টেবিলের ঐ স্থানের উপর মোট চাপ 10000 গ্রাম-ভার।

পূর্বের 2 নং উদাহরণে চাপের পরিমাণ 76·3 × 13·6 গ্র্যাম-ভার প্রতি বর্গ সেন্টিমিটারে কিন্তু মোট চাপ বা ঘাত $\pi 3^2$ × 76·3 × 13·6 গ্র্যাম-ভার।

3নং প্রশ্নে চাপের তারতম্য হইবে না সত্য, কিন্তু নল মোটা হইলে মোট চাপ বা ঘাত সেই অনুপাতে বেশী হইবে, নল সরু হইলে মোট চাপ বা ঘাত সেই অনুপাতে কম হইবে।

4নং প্রশ্নে চাপের পরিমাণ 1625 পাউণ্ড-ভার প্রতি বর্গফুটে, কিন্তু মোট চাপের পরিমাণ 6500 পাউণ্ড-ভার।

প্রশ্ন

1. চাপের সংজ্ঞা বল। চাপ এবং ঘাতের মধ্যে পার্থক্য কি? উদাহরণের সাহায্যে ব্যাখ্যা কর।

(Define Pressure. What is the distinction between pressure and thrust? Explain by examples.)

2. একখানা পুস্তকের দৈর্ঘ্য 9 ইঞ্চি এবং প্রস্থ 6 ইঞ্চি এবং ওজন ½ পাউণ্ড। ঐরূপ দশখানা পুস্তক পর পর একটির উপর আর একটি করিয়া সাজাইয়া টেবিলের উপর রাখা হইয়াছে। বইগুলির নীচে টেবিলে প্রতি বর্গইঞ্চিতে কত চাপ পড়িতেছে? মোট চাপই বা কত?

(The length and breadth of a book weighing ½ lb. are 9" and 6" respectively. On a table ten such books are piled with their boundary lines coinciding. What is the pressure on the table below the books? What is the thrust?)

[*Ans.* ·0926 lbs. wt. per sq. inch ; 5 lbs. wt.]

3. 76 সে. মি. দীর্ঘ এবং 4 বর্গ সে. মি. প্রস্থচ্ছেদবিশিষ্ট তিনটি কাঁচ নল আছে। প্রত্যেক নলের এক মুখ বন্ধ এবং অপর মুখ খোলা। খোলা মুখ উপর দিকে রাখিয়া নলগুলি উলম্ব অবস্থায় দাঁড় করিয়া রাখা হইয়াছে। ঐগুলি যথাক্রমে পারদ, জল ও গ্লিসারিন দ্বারা পূর্ণ করা হইল। তরলের তলদেশে কোন্ নলে কত চাপ পড়িতেছে? মোট চাপ কোন্ ক্ষেত্রে কত হইতেছে? (পারদের ঘনত্ব 13·6, গ্র্যাম/ঘন. সে. মি.; গ্লিসারিণের 1·6 গ্র্যাম/ঘন সে. মি.; জলের 1 গ্র্যাম/ঘন. সে. মি.।)

(There are three glass tubes, each 76 cms. in length and of cross-section 4 sq. cm. The tubes are closed at one end and open at the other. The open ends are put upwards and the tubes made to stand vertically. The tubes are then filled with mercury, water and glycerine. What is the pressure at the bottom of the tubes? Find also the thrust in each case. (Density of mercury is 13·6 gm./c.c.; of glycerine 1·6 gm./c.c. and of water 1 gm./c.c.)

[*Ans.* 1033·6 gms. wt. per square cm. ; 121·6 gms. wt. per sq. cm.; 76 gms. wt. per sq. cm.; 4134·4 gms. wt.; 486·4 gms. wt.; 304 gms. wt.]

4. 76 সে. মি. দীর্ঘ পারদপূর্ণ নলের নীচে চাপ যত, কত দীর্ঘ জলপূর্ণ নলের নীচে চাপ তত হইবে?

(Find the height of water column which will have the same pressure as that due to a column of mercury 76 cm. in length placed vertically.)

[*Ans.* 1033·6 cm. = 33·91 ft.]

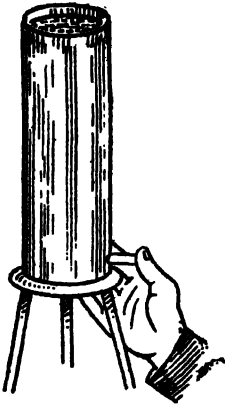
দ্বিতীয় পাঠ

3.2. তরল পদার্থের চাপ (Pressure of liquids):

3.1 অনুচ্ছেদের 1 এবং 4 নং উদাহরণ দুইটি হইতে বুঝা যাইবে যে কঠিন বস্তু স্থির অবস্থায় উহার ওজনের জন্য নীচের দিকে চাপ দেয়।

ঐ অনুচ্ছেদের 2নং উদাহরণে দেখা গিয়াছে যে নলের মধ্যে পারদ রাখিলে ঐ পারদের ওজনের জন্য পাত্রের তলায় নীচের দিকে চাপ পড়ে। পারদের পরিবর্তে অন্য তরল পদার্থ লইলেও অনুরূপভাবে হিসাব করিয়া চাপের পরিমাণ নির্ণয় করা চলিবে। সুতরাং তরল বস্তুও নিজের ওজনের জন্য নীচের দিকে চাপ দেয়।

কিন্তু তরল বস্তুর চাপ দেওয়া এবং কঠিন বস্তুর চাপ দেওয়ার মধ্যে বহু প্রভেদ আছে।

মনে কর তোমার হাত টেবিলের উপর পাতিয়া রাখিয়াছ; যদি হাতের উপর পর পর ভারী বই উপরে উপরে সাজাইয়া এক স্তূপ করা হয় তবে হাতে তুমি নিশ্চয়ই খুব চাপ অনুভব করিবে। কিন্তু যদি তুমি নীচ হইতে হাত সরাইয়া লও এবং বইগুলি একইভাবে স্তম্ভের ন্যায় টেবিলের উপর স্তূপ করা থাকে, তবে একেবারে নীচের বইএর পাশে হাত বা আঙুল লাগাইয়া রাখিলে কোন চাপ অনুভব করিবে না। সুতরাং **কঠিন বস্তু পাশের দিকে চাপ দিতে পারে না।**

আঙুল দ্বারা পার্শ্ব-চাপ অনুভব করা

এখন তলার দিকে পার্শ্বে ছিদ্রযুক্ত একটি লম্বা টিনের চোঙ লও। পার্শ্বের ছিদ্রের মুখ আঙুল দ্বারা চাপ দিয়া বন্ধ করিয়া রাখ। এখন পাত্রে জল ঢালিতে থাক। জলের লেভেল পাত্রের মধ্যে বেশী উপরে না উঠিলে আঙুল দ্বারা অল্প চাপ দিয়াই জল পড়া বন্ধ করিতে পারিবে। কিন্তু জল দ্বারা পাত্র ভরিয়া দিলে আর অল্প চাপ দিয়া জল পড়া বন্ধ করিতে পারিবে না। জলের লেভেল পাত্রে যত বেশী হইবে তত বেশী চাপ দিয়া জল পড়া বন্ধ করিতে হইবে।

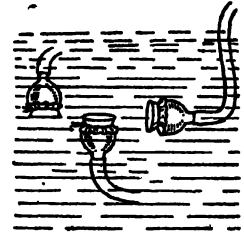
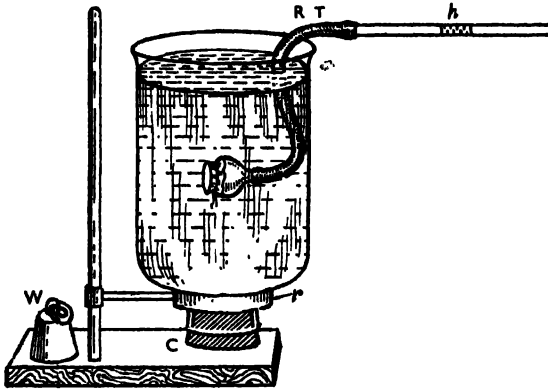
সুতরাং তরল বস্তু শুধু নীচের দিকেই নয়, পাশের দিকেও চাপ দিতে পারে। আর শুধু পাশের দিকেই নয় উপরের দিকে, এমনকি সকল দিকেই তরল বস্তু চাপ দিতে পারে, কিন্তু কঠিন বস্তু একমাত্র নীচের দিকেই চাপ দিতে সমর্থ।

8.2 1. তরল পদার্থের চাপের বৈশিষ্ট্য (Characteristics of Liquid Pressure) :

নিম্নলিখিত পরীক্ষাগুলি হইতে তরল পদার্থের চাপের বৈশিষ্ট্যগুলি বুঝা যাইবে :

প্রথম পরীক্ষা—একটি থিস্‌ল ফানেলের (Thistle funnel) মুখ রবারের পর্দা টান করিয়া বন্ধ করিয়া সুতা বাঁধিয়া রাখ। থিস্‌ল ফানেলের নলটির ছোট একটু অংশ রাখিয়া বাকী অংশ কাটিয়া ফেলিতে হইবে। ঐ থিস্‌ল ফানেলের নলের প্রান্তে একটি রবারের নল সংযুক্ত কর এবং রবারের নলের অন্য প্রান্তে খুব লম্বা একটি সরু কাঁচের নল যুক্ত কর।

সরু কাঁচ-নলে আগেই একটু লাল জল মুখ দিয়া টানিয়া লইতে হইবে। নলটিকে ক্ল্যাম্পের সাহায্যে অনুভূমিক করিয়া রাখ।

এখন হাত দিয়া থিস্‌ল ফানেলের মুখের রবারের পর্দার উপর আস্তে একটু চাপ দাও, দেখিবে লাল জল নলের খোলা মুখের দিকে যাইবে; আর একটু জোরে

থিস্‌ল ফানেলের মুখের উপর চাপ উহার উপরিস্থিত তরলস্তম্ভের ওজনের সমান

নির্দিষ্ট গভীরতায় জলের চাপ সব দিকে সমান

চাপ দিলে ঐ জল খোলা মুখের দিকে আরও অগ্রসর হইবে। চাপ ছাড়িয়া দিলে জল আবার পূর্বের স্থানেই ফিরিয়া আসিবে। অর্থাৎ, রবারের উপর চাপ বাড়িলে লাল জলটুকু নলের খোলা মুখের দিকে যায়, চাপ কমিলে বিপরীতদিকে আসে।

এখন একটি বেলজারের ছিপি বন্ধ করিয়া উল্টাইয়া রেটর্ট ক্ল্যাম্পের সাহায্যে ঠিক মত বসাইয়া উহাতে জল ঢাল।

এইবার ফানেলটি জলের মধ্যে ডুবাইয়া ক্রমশ নীচে লইয়া গেলে দেখা যাইবে যে, ফানেল যত জলের নীচে যাইতেছে, অনুভূমিক নলের লাল জল ততই নলের খোলা মুখের দিকে যাইতেছে।

সুতরাং বুঝা গেল যে (1) তরলের **গভীরতা যত বেশী হইতেছে চাপ তত বৃদ্ধি পাইতেছে।**

এখন ফানেলের মুখ মোটামুটিভাবে একই লেভেলে রাখিয়া উহাকে যে কোন পাশে, উপরের দিকে বা নীচের দিকে ঘুরাইলে দেখা যাইবে যে অনুভূমিক নলের লাল জল মোটামুটি একই স্থানে ঠিক থাকিতেছে।*

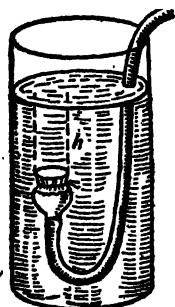
সুতরাং বুঝা গেল যে, (2) **যে কোন নির্দিষ্ট গভীরতায় জলের চাপ সকল দিকে সমান।**

একই লেভেলে ফানেলের মুখটি রাখিয়া পাত্রের যে কোন স্থানে উহাকে সরাইলে লাল জলের স্থান পরিবর্তিত হইবে না। ইহা হইতে বুঝা যায় যে (3) **একই অনুভূমিক রেখায় তরলের চাপ সমান।**

তরল পদার্থের চাপের পরিমাণঃ

মনে কর পূর্বের পরীক্ষায় ফানেলের মুখে যে রবারের পর্দা আছে তাহার উপর চাপ হিসাব করিতে হইবে।

ফানেলের মুখের ক্ষেত্রফল α বর্গ সে. মি. ধরা হইল। ঐ ফানেলের মুখ অনুভূমিক করিয়া রবারের পর্দা উপর দিকে রাখিয়া ফানেলকে যখন কোন তরলের উপরিতল হইতে h সে.মি. গভীরতায় রাখা হইল তখন উহার উপর কত চাপ পড়িবে?

থিসল ফানেলের মুখের উপর চাপ উহার উপরিস্থিত তরলস্তম্ভের ওজনের সমান

আগেই বলা হইয়াছে যে, কোন তরল স্থির অবস্থায় থাকিলে কোন স্থানে যে চাপ পড়ে তাহা ঐ তরলের ওজনের জন্যই পড়ে। পূর্বের পরীক্ষা হইতে প্রমাণিত হইয়াছে যে তরলের ঐ চাপ সকল দিকে সমানভাবে প্রযুক্ত হইয়া থাকে।

এখন α ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট রবারের পর্দার উপর যে তরলের স্তম্ভ দাঁড়াইয়া আছে তাহার উচ্চতা h; সুতরাং ঐ তরলের স্তম্ভেরআয়তন $= h.\alpha.$ ঘন সে. মি.।

যদি তরলের ঘনত্ব প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে ρ গ্র্যাম হয় তবে ঐ তরলের ভর $= h\alpha\rho$ গ্র্যাম এবং ইহার ওজন $h\alpha\rho$ গ্র্যাম-ভার অথবা, $h\alpha\rho g$ ডাইন। ফানেলের মুখের ক্ষেত্রফল α বর্গ সে. মি.

$\therefore$ চাপ $= \frac{h\alpha\rho}{\alpha}$ গ্র্যাম-ভার প্রতি বর্গ সে. মি. $= \frac{h\rho g\alpha}{\alpha}$ ডাইন প্রতি বর্গ সে মি.

$= h\rho$ গ্র্যাম-ভার প্রতি বর্গ সে.মি. $= h\rho g$ ডাইন প্রতি বর্গ সে মি.

এইক্ষেত্রে gর মান 981 $cm./sec.^2$

---

* জলের মধ্যে হাত ডুবাইয়া ফানেল ঘুরাইলে সকল সময় হাতের সমান অংশ জলে ডুবিয়া থাকে না, তাই নলের লাল জল এদিকে সেদিকে সামান্য নড়িয়া থাকে।

যদি ক্ষেত্রফল α বর্গফুট ধরা হয়, এবং তরলের গভীরতা h ফুট ধরা হয় এবং তরলের ঘনত্ব প্রতি ঘনফুটে ρ পাউণ্ড ধরা হয় তবে ঠিক আগের নিয়মে তরলের স্তম্ভের আয়তন হইবে $h\alpha$ ঘনফুট এবং ঐ তরলের ভর হইবে $h\alpha\rho$ পাউণ্ড

$$\text{স্থতরাং চাপ} = \frac{h\alpha\rho}{\alpha} \text{ পাউণ্ড-ভার প্রতি বর্গফুটে}$$

$$= h\rho \text{ পাউণ্ড-ভার প্রতি বর্গফুটে} = h\rho g \text{ পাউণ্ড্যাল প্রতি বর্গফুটে}$$

এক্ষেত্রে gর মান 32 ft./sec.^{2}

স্থতরাং **যে তরলের ঘনত্ব ρ তাহার h গভীরতায় চাপ$=h\rho g$ প্রতি বর্গ একক স্থানে।** ঐ স্থানে রবারের পর্দা না থাকিলেও চাপ একই হইবে।

C. G S. প্রণালী হইলে ইহা এইভাবে প্রকাশ করিতে হইবে—$h\rho$ গ্র্যাম-ভার প্রতি বর্গ সেন্টিমিটারে অথবা, $h\rho g$ ডাইন প্রতি বর্গ সেন্টিমিটারে

F. P S. প্রণালী হইলে ইহা এইভাবে প্রকাশ করিতে হইবে—$h\rho$ পাউণ্ড-ভার প্রতি বর্গফুটে অথবা, $h\rho g$ পাউণ্ড্যাল প্রতি বর্গফুটে

মাপিবার পদ্ধতি (system) নিরপেক্ষভাবে বলা যায় যে চাপ $p=\rho gh$ বা $h\rho g$ প্রতি বর্গ একক ক্ষেত্রফলে।

বস্তু কঠিন হইলে ঐ চাপ নীচের দিক ব্যতীত অন্য কোন দিকে ক্রিয়া করিতে পারিত না, বস্তু তরল বলিয়া ঐ চাপ সব দিকে সমানভাবে ক্রিয়া করিতে পারিবে।

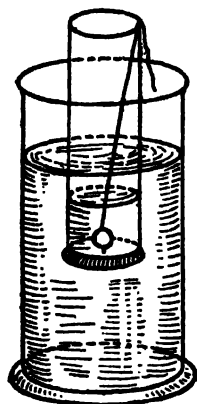
স্থতরাং তরল বস্তুর সবদিকের চাপ উহার গভীরতা এবং ঘনত্বের সহিত সমানুপাতিক।

জলের পার্শ্বচাপ গভীরতার উপর নির্ভর করে

পূর্বের পরীক্ষায় জলের পরিবর্তে কেরোসিন লইয়া অনুরূপ পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে যে সেই নির্দিষ্ট গভীরতায় জলের তুলনায় কেরোসিনের চাপ কম হইবে। সেইরূপ তুঁতে গোলা জল লইয়া পরীক্ষা করিলে সেই নির্দিষ্ট গভীরতায় আগের তুলনায় চাপ বেশী হয় দেখা যাইবে। আবার পারদ লইয়া পরীক্ষা করিলে ঐ গভীরতায় চাপ যে আরও অনেক বেশী তাহা প্রমাণ করা যাইবে।

দ্বিতীয় পরীক্ষা—একটি টিনের চোঙের গায়ে পাশের দিকে উঁচু হইতে পর পর নীচের দিকে তিনটি ছিদ্র আছে। ঐ ছিদ্রগুলি আঙুল দ্বারা বন্ধ রাখিয়া

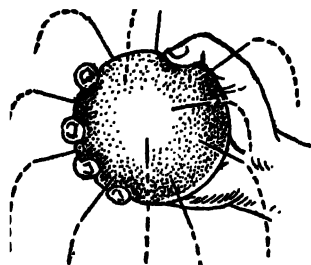
পাত্রটি আগে জলপূর্ণ করিয়া আঙুল ছাড়িয়া দাও। দেখিবে যে, যে ছিদ্র যত নীচে সেই ছিদ্র হইতে জল তত অধিক দূরে সরিয়া পড়িতেছে। ইহা হইতে প্রত্যক্ষভাবে কি প্রমাণ হয়? ইহাতে প্রত্যক্ষভাবে এই প্রমাণ হয় যে অধিক গভীরতায় তরল পদার্থের পার্শ্বচাপ অধিক। কিন্তু আমরা জানি, যে-কোন গভীরতায় সব দিকে চাপ সমান। সুতরাং যেখানে পার্শ্বচাপ বেশী সেই স্থানে সব দিকের চাপই বেশী। অর্থাৎ, জলস্তম্ভের গভীরতা যত বেশী সব দিকে চাপ তত বেশী।

তৃতীয় পরীক্ষা—একটি টিনের চাকৃতির মধ্যস্থানে একটি হুক সংযুক্ত আছে। ঐ হুকে এক গাছি সুতা বাঁধিয়া ঐ সুতা একটি দুই মুখ খোলা কাঁচ-নলের ভিতর দিয়া আনিয়া সুতার অন্য প্রান্ত টানিয়া ধর। টিনের চাকতি কাঁচনলের মুখ বন্ধ করিয়া রাখিবে।

ঐ অবস্থায় সুতা টান করিয়া ধরিয়া কাঁচ-নলটি আরও একটি বড় কাঁচের পাত্রে জলের মধ্যে খাড়াভাবে ডুবাইয়া দিয়া সঙ্গে সঙ্গে সুতা ছাড়িয়া দাও। দেখিবে চাকৃতিটি পড়িতেছে না। ধীরে ধীরে চাকৃতি ও কাঁচ-নলটির মধ্যস্থ সামান্য ফাঁকের মধ্য দিয়া কাঁচ-নলে নীচের দিক হইতে জল প্রবেশ করিবে। (অথবা উপর হইতে কাঁচ-নলের মধ্যে লাল জল ঢালিলেও চলিবে) যখন কাঁচ-নলের ভিতরে ও বাহিরে একই উচ্চতায় জল দাঁড়াইবে তখন চাকৃতিটি হঠাৎ খুলিয়া ধীরে ধীরে নীচে পড়িয়া যাইবে।

জলের ঊর্ধ্ব চাপের পরীক্ষা

জলের ঊর্ধ্বচাপের ফলেই চাকৃতিখানি কাঁচ-নলের মুখে আটকাইয়া থাকে। ভিতরে ও বাহিরের জলের লেভেল সমান হইলে চাকৃতিটির উপরের নিম্নচাপ এবং নীচের ঊর্ধ্বচাপ সমান হয়; তখন চাকৃতিখানি সাধারণভাবে জলে ডুবাইলে যেমন ডুবিয়া যাইত নিজের ওজনে সেইরূপ ডুবিয়া যায়।

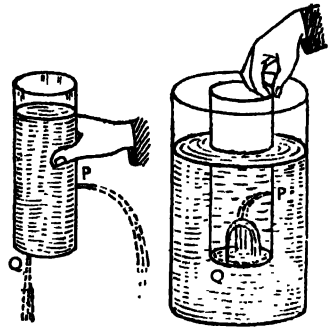
চতুর্থ পরীক্ষা—একটি রবারের বলের গায়ের নানা স্থানে সূচ ফুটাইয়া ছিদ্র কর। ঐ রবারের বল জলে ডুবাইয়া ক্রমান্বয়ে চাপ দাও এবং চাপ ছাড়িয়া দাও। ইহাতে উহা জলপূর্ণ হইবে।

চাপে জল বাহির হইবার সময় পাত্রের পৃষ্ঠের সহিত লম্বভাবে নির্গত হয়

বল জল হইতে তুলিয়া লইলে সূক্ষ্ম ছিদ্রের ভিতর দিয়া জল বাহির হইবে না। এখন দুই আঙুলের মধ্যে বলটি ধরিয়া জোরে

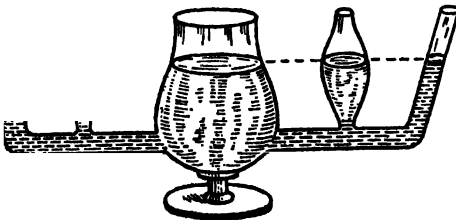
চাপ দিলেই দেখিবে রবারের বল হইতে জল বাহির হইতেছে তাহা প্রত্যেক স্থানে প্রথমে বলের ব্যাসার্ধের দিক ধরিয়া বাহির হইতেছে।

ইহাতে বুঝা যায় যে আবদ্ধ জলে চাপ বাড়াইলে জলের চাপ জলের আধার বা পাত্রের দেওয়ালের উপর প্রত্যেক বিন্দুতে লম্বভাবে ক্রিয়াশীল হয়। কারণ, বলের ব্যাসার্ধ উহার বক্রতলের সহিত সর্বদা লম্ব থাকে।

পঞ্চম পরীক্ষা—পার্শ্বের দিকে এবং তলায় সরু ছিদ্রযুক্ত একটি ফাঁপা সিলিণ্ডার লও। ঐ দুই ছিদ্র আঙুল দ্বারা বন্ধ রাখিয়া পাত্রটি জলপূর্ণ কর। আঙুল ছাড়িয়া দিলে দেখা যাইবে যে, ছিদ্রের ভিতর দিয়া যে পথে জল বাহির হইতেছে উহার প্রথম অংশ পাত্রের যে স্থান হইতে জল নির্গত হইতেছে সেই স্থানের সহিত লম্ব অবস্থায় আছে।

(a) (b)
ছিদ্র দিয়া পাত্র হইতে জল নির্গত হইবার সময় অথবা পাত্রে জল প্রবেশ করিবার সময় গায়ে লম্বভাবে জলের ধারা থাকে

ইহাতে প্রমাণ হয় যে, **তরল বস্তু উহার পাত্রের দেওয়ালে লম্বভাবে চাপ দেয়।**

ঐ সিলিণ্ডারকে জোরে চাপিয়া বড় জলপাত্রে গলা পর্যন্ত ডুবাইলে ছিদ্রের ভিতর দিয়া বাহির হইতে ভিতরে জল ঢুকিবার বেলাও লম্বভাবে ঢুকিবে।

ষষ্ঠ পরীক্ষা—প্রদর্শিত চিত্রের মত বিভিন্ন আকৃতিবিশিষ্ট কয়েকটি নলযুক্ত একটি কাঁচপাত্র লও। উহার প্রত্যেক নল অপর সকল নলের সহিত সংযুক্ত। পাত্রটির যে কোন নলে লাল জল ঢালিয়া দিলে দেখা যাইবে যে জল প্রত্যেক নলে একই উচ্চতায় দাঁড়াইয়াছে, অর্থাৎ, নলগুলির আকৃতি বা আয়তনের উপর জলের সমতলের উচ্চতা নির্ভর করে না।

জলের সমোচ্চশীলতা

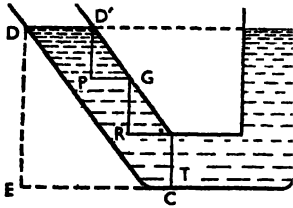
ইহাতে বুঝা যায় যে, **তরলের সমোচ্চশীলতা গুণ আছে**—অর্থাৎ, সংযুক্ত পাত্রে তরল বস্তু একই উচ্চতায় উঠিয়া স্থির থাকে।

• **এখানে উচ্চতা বলিলে সর্বদা উল্লম্ব উচ্চতা বুঝিতে হইবে।** মনে কর AB সোজা উল্লম্ব নলের সহিত CD বাঁকা নলটি যুক্ত আছে। এবং AC অনুভূমিক।

AB পাত্রে তরল ঢালিলে যদি লেভেল B পর্যন্ত উঠে তবে CD পাত্রেও লেভেল এমন স্থান D পর্যন্ত উঠিবে যাহাতে D হইতে ACর বর্ধিত অংশে DE লম্ব পাত করিলে DE = AB হয়।

মনে কর DD′ ACর সমান্তরাল বা D বিন্দুর ভিতর দিয়া অনুভূমিক রেখা। D′ হইতে CD নলে যতটা সম্ভব, যথা P পর্যন্ত সোজা নামিয়া আসিলে P বিন্দুতে তরলের চাপ পড়িবে $D'P \times \rho \times g$; PG একই অনুভূমিক রেখায় অবস্থিত ∴ G বিন্দুতে চাপ $D'P \times \rho \times g$; R বিন্দুতে চাপ = G বিন্দুতে চাপ + G R গভীরতার জন্য চাপ।

$$= (D'P \times \rho \times g + GR \times \rho \times g)$$

$$= D'R\rho g.$$

তরলের চাপ তরল স্তম্ভের উল্লম্ব উচ্চতার উপর নির্ভর করে

অর্থাৎ নলের DR কাত করা অংশের জলস্তম্ভের চাপ D′R উল্লম্ব জলস্তম্ভের চাপের সমান। এইভাবে CD নলের চাপ C হইতে D′ এর উল্লম্ব উচ্চতা যত, অর্থাৎ ED = AB জলস্তম্ভের চাপের সমান।

স্তরাং তরলের চাপ হিসাব করিবার সময় নল যে আকৃতিরই হউক, গভীরতা উল্লম্বভাবে ধরিয়া চাপ হিসাব করিতে হইবে।

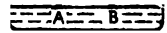
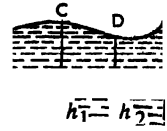
উপরের তথ্যটি যেভাবে বিচার করিয়া দেখা হইয়াছে তাহার প্রয়োজনীয়তা আছে ; কিন্তু অন্য উপায়েও উহার সত্যতা উপলব্ধি করা যায়।

A বিন্দুতে C. G. S. প্রণালীতে চাপ হইবে $AB \times \rho$ গ্র্যাম-ভার প্রতি বর্গ সেন্টিমিটারে। যদি C বিন্দুতে ইহা অপেক্ষা কম বা বেশী চাপ হয় তবে তরল A হইতে C-র দিকে চলিয়া যাইবে। কিন্তু আমরা ধরিয়া লইয়াছি তরল স্থির আছে ; স্তরাং A বিন্দু এবং C বিন্দুতে চাপ সমান। কিন্তু A বিন্দুতে চাপ $AB \times \rho$ গ্র্যাম-ভার বর্গ সে. মি. ; স্তরাং C বিন্দুতেও তাহাই চাপ অর্থাৎ নল বাঁকা হইলেও C বিন্দুতে যত চাপ পড়িবে তাহা AB র সমান উল্লম্ব উচ্চতাযুক্ত তরল স্তম্ভের চাপের সমান।

3·22. তরল পদার্থ স্থির থাকিলে উহার উপরিতল সর্বদা অনুভূমিক থাকে :

পরীক্ষা—একটি কাঁচের গ্লাসে জল লইয়া টেবিলের উপর রাখিয়া বিভিন্ন কোণে উহাকে কাত করিলে দেখা যায় যে, গ্লাস যে দিকেই কাত করা হউক না কেন এবং যতটা কাত করা হউক, জলের উপরিতল সর্বদা টেবিলের উপরিতলের সমান্তরাল হইবে—অর্থাৎ, জলের তল সর্বদা অনুভূমিক হইবে।

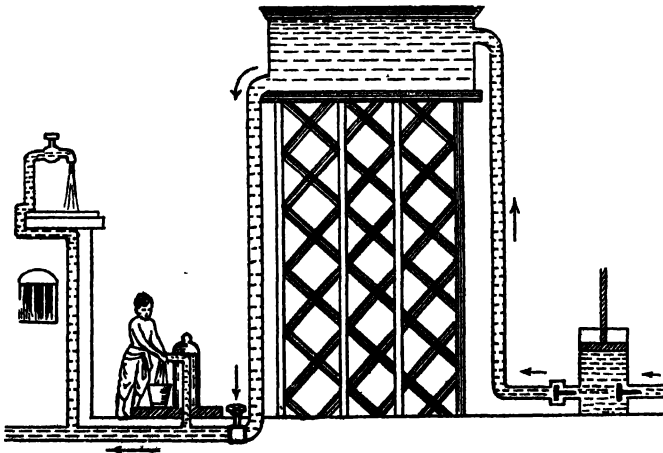
এই কথার তত্ত্বীয় প্রমাণ এইভাবে দেওয়া যায়।

যদি সম্ভবপর হয় তবে ধরা গেল যেন তরলের উপরিতল বাঁকানো। AB যেন তরলের মধ্যে একটি অনুভূমিক রেখা এবং A বিন্দু হইতে বরাবর উপরিতলের C বিন্দু h_1 উচ্চতায় আছে, এবং B বিন্দু হইতে অনুরূপ বরাবর উপরের D বিন্দু যেন h_2 উচ্চতায় আছে তাহা হইলে A বিন্দুতে চাপ হইবে (C. G. S. প্রণালীতে) $h_1\rho$ গ্র্যাম-ভার বর্গ সে. মি. এবং ঐ একই প্রণালীতে B বিন্দুতে চাপ হইবে $h_2\rho$ গ্র্যাম-ভার বর্গ সে.মি। কিন্তু যেহেতু তরল পদার্থ স্থির আছে। ∴ একই অনুভূমিক রেখাস্থ A এবং B বিন্দুতে চাপ সমান হইবে। ∴ $h_1\rho = h_2\rho$ অর্থাৎ $h_1 = h_2$

তরলের উপরিতল অনুভূমিক হইবে

∴ A এবং B হইতে উপরের দুই বিন্দু সমান উচ্চতায় আছে; AB অনুভূমিক ∴ উপরের তলও অনুভূমিক হইবে।

পরস্পর মিশ্রিত হয় না এমন দুই তরল এক পাত্রে রাখিলে ভারী তরল নীচে থাকিবে এবং উভয় তরলের মিলনতল আর উপরিতল অনুভূমিক হইবে।

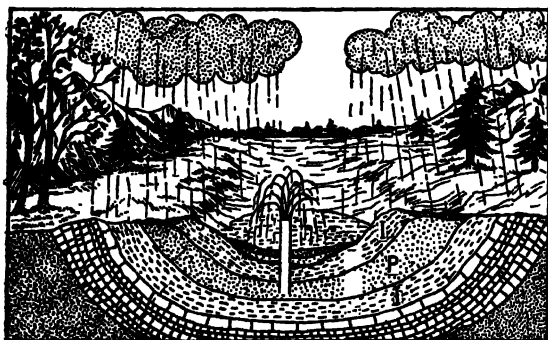
3 23, জলের সমোচ্চশীলতা গুণের প্রয়োগ ঃ

(1) **শহরের জলসরবরাহ**—তরলের এই সমোচ্চশীলতা গুণকে কাজে লাগাইয়া শহরে কলের দ্বারা জলসরবরাহ হইয়া থাকে।

t—জলের কল T—ট্যাঙ্ক P—পাম্প

জলকে পরিষ্কৃত জীবাণু শূন্য করিয়া পাম্পের সাহায্যে অনেক উঁচুতে তুলিয়া

একটা বড় ট্যাঙ্কে জমা রাখা হয়। রাস্তার নীচের বড় পাইপের সহিত নল দ্বারা ঐ ট্যাঙ্ক যুক্ত থাকে ঐ সকল নলে স্থানে স্থানে চাবি দেওয়া থাকে এবং সময় মত চাবি খুলিয়া শহরের সর্বত্র জলসরবরাহ করা হয়।

জলের ট্যাঙ্ক খুব উঁচুতে রাখা হয়। ট্যাঙ্কের সঙ্গে সংযুক্ত নলের জল সমোচ্চশীলতা গুণের জন্য সমান উচ্চতায় উঠিত; কিন্তু কলের নল তত উঁচু নয় বলিয়া কল খুলিলে কল হইতে জল বেগে বাহির হয়। ট্যাঙ্ক অপেক্ষা উঁচু স্থানে কলের জল পাওয়া যাইবে না, কারণ জল ট্যাঙ্কের সমতলের উপরে উঠিতে পারিবে না। কিন্তু রাস্তার বহু কল খোলা থাকিলে ট্যাঙ্ক হইতে দূরে অবস্থিত কলের উচ্চতা ট্যাঙ্ক অপেক্ষা কম হইলেও কলে জল না আসিতে পারে।

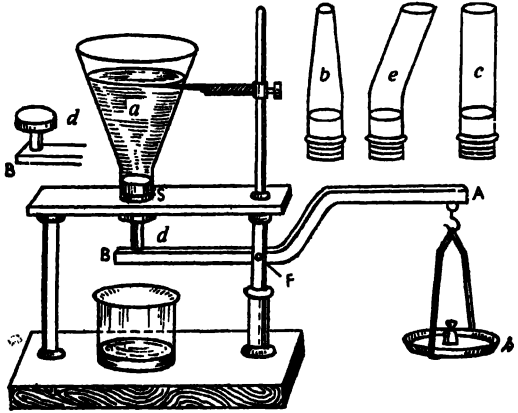
(2) **আর্টেজীয় কূপ ও স্বাভাবিক ফোয়ারা**—পৃথিবীর ভূত্বকের স্তর অনেক স্থানেই বাঁকিয়া গিয়া উঁচু-নীচু হইয়া আছে। ঐরূপ বাঁকানো স্তরের মধ্যে নীচের এবং উপরের অপ্রবেশ্য শিলাস্তরের মাঝখানে বালির স্তরে জল থাকে। ঐ বাঁকানো স্তরের মধ্যস্থানে নল বসাইলে জলের সমোচ্চশীলতা গুণের জন্যই জল ঐ দুইদিকে সমান উচ্চতায় উঠিতে চেষ্টা করে এবং স্বাভাবিক ফোয়ারার ন্যায় চারিদিকে ছড়াইয়া পড়ে। এই প্রকার কূপ সর্ব প্রথম ফরাসী দেশের আর্টোয়া নামক স্থানে খনন করা হইয়াছিল বলিয়া ইহাকে আর্টেজীয় কূপ বলে।

আর্টেজীয় কূপ I অপ্রবেশ্য স্তর P প্রবেশ্য স্তর

চিত্রে বাঁকানো স্তরের দুই প্রান্ত খুব নিকটে দেখানো হইয়াছে; প্রকৃতপক্ষে ঐ দুই প্রান্তের মধ্যে বহু মাইল ফাঁক থাকে এবং নল ঐ স্তরের যে কোন প্রান্ত হইতে কিছু দূরে বসাইলেই চলে; এমনকি নল না বসাইলেও উপরের স্তরে ফাটল থাকিলে ঐ ফাটলের মধ্য দিয়া আপনা হইতে জল সমোচ্চশীলতা গুণের জন্য ঊর্ধ্বগামী হইয়া বাহির হয়—ইহাই স্বাভাবিক ফোয়ারা।

সাধারণত ঐ বাঁকানো স্তরের দুই প্রান্ত পরস্পর হইতে কয়েক মাইল দূরে মাটির লেভেলে থাকে; বৃষ্টির জল চুঁয়াইয়া ঐ স্তরে প্রবেশ করে।

3.24. উদস্থৈতিক কূট (Hydrostatic Paradox) ঃ

এখন একটি পরীক্ষা বর্ণনা করা হইতেছে। ইহা একটু তলাইয়া না দেখিলে অদ্ভুত মনে হয়; তাই ইহাকে **উদস্থৈতিক কূট (Hydrostatic Paradox)** বলে।

ম্যাসনের পরীক্ষা (Masson's experiment)—যে যন্ত্রের সাহায্যে এই পরীক্ষা দেখানো হয় তাহা চিত্রে প্রদর্শিত হইল। AB তুলাদণ্ডের A প্রান্তে *s* একটি তুলাপাত্র। F আলম্বের (fulcrum) উপর AB দণ্ড ঘুরিতে পারে। তুলাদণ্ডের B প্রান্তে একটি দণ্ডের উপর *d* একটি ধাতব চাকৃতি লাগানো আছে। ঐ চাকৃতির ঠিক উপরে কাঠের অনুভূমিক টুকরার উপর S একটি স্ক্রুর পেঁচ-কাটা পিতলের সকেট (socket) বসানো আছে।

ম্যাসনের পরীক্ষা

চিত্রে প্রদর্শিত মতে *a*, *b*, *c* এবং *e* চারিটি কাঁচপাত্র আছে। ইহাদের আকৃতি বিভিন্ন; *a*-র উপর দিক মোটা নীচের দিক সরু, *b*-র উপর দিক সরু নীচের দিক মোটা, *c*-র আগাগোড়া সমান মোটা—কিন্তু প্রত্যেক পাত্রের দুই মুখ খোলা এবং নীচের খোলা বৃত্তাকার মুখের মাপ সব কয়টির সমান এবং প্রত্যেকটির নীচে এমনভাবে স্ক্রু কাটা আছে যে, প্রত্যেকটি *d* এর উপরিস্থ S সকেটের মধ্যে স্ক্রু ঘুরাইয়া বসানো যায়।

যে কোন পাত্র ঐরূপ ভাবে সকেটে বসাইলে উহার ওজন কাঠখানার উপরই পড়িবে। *s* তুলাপাত্রে উপযুক্ত ওজন চাপাইলে *d* চাকৃতিটি উপরে উঠিয়া সকেটের নীচের মুখ বন্ধ করে। ঐ অবস্থায় পাত্রে জল ঢালিলে জল এক নির্দিষ্ট উচ্চতায় উঠিলেই জলের চাপে *d* চাকৃতি নীচের দিকে নামিতে আরম্ভ করে এবং জল পড়িতে আরম্ভ হয়।

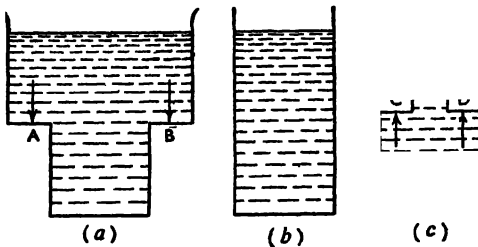
কিন্তু দেখা যায় যে, যে পাত্রই ব্যবহার করা হউক না কেন, *s* তুলাপাত্রে নির্দিষ্ট ওজন ঠিক থাকিলে জলের লেভেল একই নির্দিষ্ট উচ্চতায় উঠিলেই *d* চাকৃতি ঠেলিয়া জল নীচে পড়িতে সুরু করে।

ইহা আপাতদৃষ্টিতে অসম্ভব মনে হয় বলিয়া ইহার নাম উদস্থৈতিক কূট।

একটু তলাইয়া দেখিলেই বুঝা যায় যে, তরলের চাপের ফলে এইরূপ হওয়াই স্বাভাবিক। আমরা জানি যে প্রতি ঘন সেণ্টিমিটারে ρ ঘনত্বের h সে.মি. উচ্চতাবিশিষ্ট তরলের স্তম্ভের জন্য যে চাপের সৃষ্টি হয়, তাহার পরিমাণ প্রতি বর্গ সেণ্টিমিটারে $h\rho$ গ্র্যাম-ভার।

প্রত্যেক ক্ষেত্রে h এবং ρ ঠিক আছে, সুতরাং প্রত্যেক পাত্রের তলায় প্রতি বর্গ সেণ্টিমিটারে $h\rho$ গ্র্যাম-ভার চাপ পড়িতেছে। যদি d চাকৃতিখানার ক্ষেত্রফল α হয় তবে প্রত্যেক বার চাকৃতির উপর যে মোট চাপ বা ঘাত ক্রিয়া করিতেছে, তাহার পরিমাণ $h\rho\alpha$ গ্র্যাম-ভার। ঐ ঘাতের বেশী ঘাত হইলেই চাকৃতি নামিয়া যায় বলিয়া কোন পাত্র নির্দিষ্ট উচ্চতার, (ঐ h সেণ্টিমিটারের) বেশী জল ঢালা যায় না।

ইহার পরিবর্তে অনুরূপ অন্য প্রকার কূট প্রশ্ন উত্থাপন করা যায়।

মনে কর, চিত্রে প্রদর্শিত মতে তিনটি পাত্র টেবিলের উপর রাখা হইয়াছে। পাত্র তিনটির আকার এবং আয়তন বিভিন্ন হইলেও ইহাদের ওজন সমান। প্রত্যেক পাত্রের তলার ক্ষেত্রফল α এবং প্রত্যেক পাত্রে জলের উচ্চতা h সে. মি.। এই পাত্রগুলির তলায় জলের ঘাত বা মোট চাপ সমান হইবে। টেবিলের উপর কি প্রত্যেকটি জন্য চাপ সমান পড়িবে ?

উদস্থৈতিক কূটের ব্যাখ্যা

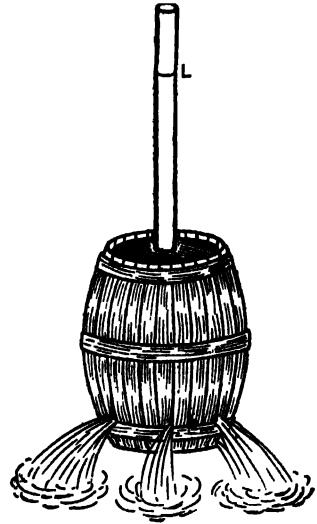
ইহার উত্তর এই যে, টেবিলের উপর প্রত্যেকটির জন্য চাপ সমান পড়িবে না— যে পাত্রে জল বেশী আছে উহার নীচে টেবিলের উপর বেশী ওজন জনিত বেশী ঘাত ক্রিয়া করিবে। **কিন্তু জলের সহিত সংলগ্ন পাত্রের ভিতরের তলদেশে** জলের জন্য চাপ এবং মোট চাপ বা ঘাত সমানই হইবে। ঐ চাপ জলের পরিমাণের উপর নির্ভর করে না, নির্ভর করে উচ্চতার উপর এবং মোট চাপ নির্ভর করে উচ্চতা এবং ক্ষেত্রফলের উপর।

প্রথম পাত্রে তীর-চিহ্নিত স্থানে পাত্রের উপর যে নিম্নচাপ ক্রিয়া করিবে, তাহা ঐ সকল স্থানের উপরের জলের ওজনের সমান। ঐ চাপের সহিত তলার চাপ যুক্ত হইয়া পাত্রের উপর যে মোট চাপ পড়িবে, তাহা সমগ্র জলের ওজনের সমান হইবে।

তৃতীয় পাত্রে তীর-চিহ্নিত স্থানে জলের চাপ উপরের দিকে পাত্রের উপর ক্রিয়াশীল হইবে। সুতরাং পাত্রের তলার উপর যে নিম্নচাপ ক্রিয়া করিতেছে তাহার সঙ্গে ঐ বিপরীত দিকে ক্রিয়াশীল চাপের জন্য পাত্রের উপর মোট নিম্নচাপ কমিয়া যাইবে ; দ্বিতীয় পাত্রে জলের ওজনের সমান ঘাত পাত্রের তলায় নীচের দিকে ক্রিয়া করিবে।

উদস্থৈতিক কূট সম্পর্কে প্যাস্কেলের পরীক্ষা ঃ

প্যাস্কেল দেখাইয়াছেন যে একটি পিপাকে জলপূর্ণ করিয়া উহার উপরে একটি সরু নল দাঁড় করাইয়া ঐ নলে অল্প জল ঢালিয়া উহার মধ্যস্থ জলের লেভেলের উচ্চতা বাড়াইলে পিপাটি এই অতিরিক্ত সামান্য জলের চাপেই নীচের দিকে ফাটিয়া যায়।

ইহার কারণ আগের অনুরূপ। নলে L পর্যন্ত জল ঢালিলে পিপার মধ্যে তলায় কোন বিন্দুতে যে চাপ পড়িতেছে তাহা ঐ তলা হইতে L পর্যন্ত উচ্চতাবিশিষ্ট জলস্তম্ভের উচ্চতার জন্য। ঐ চাপ যত, পিপার তলার উপর সিলিণ্ডারের আকারে L পর্যন্ত উঁচু সমান মোটা জলের স্তম্ভ থাকিলেও তলার যে কোন বিন্দুতে ঠিক তত চাপ হইবে। পিপার নীচের দিকের গঠন ঐ চাপ সহ্য করিতে না পারায় উহা ফাটিয়া গিয়াছে।

পিপা জলপূর্ণ করিয়া নলে L লেভেল পর্যন্ত জল ঢালায় পিপা ফাটিয়া গিয়াছে

প্রশ্ন

1. তরল পদার্থের চাপের বৈশিষ্ট্যগুলি কি কি ? তিনটি বৈশিষ্ট্য প্রমাণ করিবার জন্য উপযুক্ত পরীক্ষা বর্ণনা কর।

(What are the characteristics of pressure due to liquids ? Describe experiments to illustrate three important characteristics.)

2. তরলের কোন নির্দিষ্ট গভীরতায় চাপ নির্ণয় করিবার জন্য সূত্রটি প্রমাণ কর।

(Deduce the expression for the pressure at a given depth of a liquid.)

3. দশ ফুট গভীর জলের নীচে জলের জন্য কত চাপ পড়িবে ?

(What will be the pressure due to water alone at a depth of 10 ft in water ?)

[*Ans.* 625 পাউণ্ড-ভার/বর্গফুট]

4. সমুদ্রের জলের 25 ফুট নীচে জলের জন্য চাপ কত ? সমুদ্রের জলের ঘনত্ব প্রতি ঘনফুটে 67 পাউণ্ড।

(What is the pressure due to water alone at a depth of 25 ft. in sea water ? The density of sea water is 67 lbs. per cu. ft.)

[*Ans.* 1675 পাউণ্ড-ভার/বর্গফুট]

5. তরলের ঊর্ধ্বচাপ দেখাইবার জন্য একটি পরীক্ষা বর্ণনা কর।

(Describe an experiment to show the upward pressure due to water.)

6. কোন্ কাত করা নলে তরলের চাপ জলের উপরের লেভেলের উলম্ব (vertical) উচ্চতার উপর নির্ভর করে। ইহার তত্ত্বীয় প্রমাণ দাও;

(In an inclined tube the pressure depends on the vertical column of liquid above any point. Give a theoretical proof of this fact.)

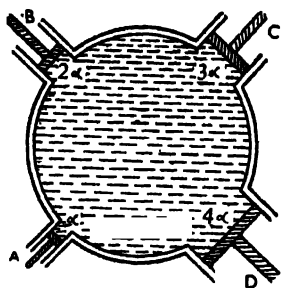
7. উদস্থৈতিক কূট বলিলে কি বুঝায়? ম্যাসনের পরীক্ষা বর্ণনা করিয়া বুঝাইয়া দাও যে উদস্থৈতিক কূটে আশ্চর্য হইবার কিছু নাই।

(What is meant by hydrostatic paradox? Describe Masson's experiment and explain that there is nothing in the hydrostatic paradox to be wondered at.)

তৃতীয় পাঠ

3.3. প্যাস্কেলের নিয়ম (Pascals Law):

প্যাস্কেল কয়েকটি পরীক্ষা করিয়া এই নিয়মে উপনীত হন—

কোন আবদ্ধ তরল বস্তুর কোন স্থানে চাপ বাড়াইলে ঐ বর্ধিত চাপ তরল বস্তুর ভিতর দিয়া সর্বত্র সমানভাবে সঞ্চালিত হয়—কোথাও প্রতি বর্গ-একক স্থানে চাপের কোন হ্রাস হয় না।

প্যাস্কেলের নিয়ম ব্যাখ্যা

পার্শ্বের চিত্রের সাহায্যে ইহা ব্যাখ্যা করা যায়। মনে কর একটি বর্তুলাকার ফাঁপা পাত্র জল দ্বারা পূর্ণ এবং ইহার চারিটি ছিদ্র উপযুক্ত পিস্টন (Piston) দ্বারা বন্ধ আছে।

A, B, C এবং D এই চারিটি পিস্টনের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল যথাক্রমে α, 2α, 3α এবং 4α বর্গসেণ্টিমিটার মনে কর। মনে কর এখন A পিস্টনের উপর W গ্র্যাম-ভার বল প্রয়োগ করা হইল; ফলে জলের যে চাপ বাড়িল উহার পরিমাণ $\frac{W}{\alpha}$ গ্র্যাম-ভার প্রতি বর্গ সে. মি.।

প্যাস্কেলের নিয়ম অনুযায়ী ঐ চাপ সর্বত্র সমান হারে বাড়িয়া যাইবে। B পিস্টনের ক্ষেত্রফল 2α. বর্গ সে.মি. ∴ ঐ পিস্টনের উপর মোট চাপ বা ঘাত হইবে

চাপ × ক্ষেত্রফল = $\frac{W}{\alpha} \times 2\alpha = 2W$ গ্র্যাম-ভার

সেইরূপ C পিস্টনের উপর ঘাত = $\frac{W}{\alpha} \times 3\alpha = 3W$ গ্র্যাম-ভার

D ... ... = $\frac{W}{\alpha} \times 4\alpha = 4W$ গ্র্যাম-ভার

সুতরাং প্রথম পিস্টনের উপর W বল প্রযুক্ত হইলে যে পিস্টনের ক্ষেত্রফল প্রথম পিস্টনের যত গুণ, উহার উপর মোট চাপ বা ঘাতও তত গুণ হইবে। সুতরাং A পিস্টনে W বল প্রয়োগ করিয়া অন্য পিস্টনগুলি যথাস্থানে রাখিতে হইলে, B, C ও D পিস্টনে বাহির হইতে যথাক্রমে 2W, 3W এবং 4W ওজনের বল প্রয়োগ করিতে হইবে।

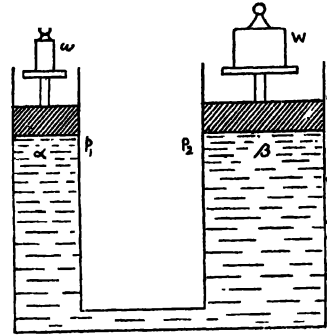
3.31. হাইড্রোলিক প্রেস (Hydraulic Press বা Bramah's Press):

তত্ত্ব—এই যন্ত্রের মূল তত্ত্ব পার্শ্ববর্তী চিত্র হইতে স্পষ্ট বুঝা যাইবে।

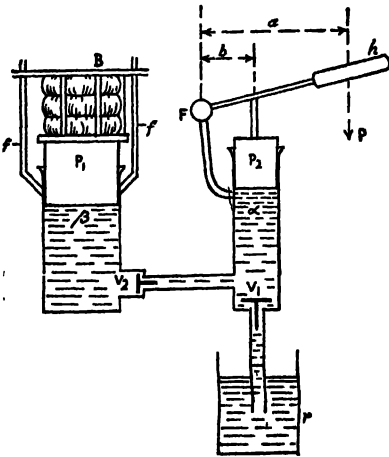
মনে কর একটি মোটা সিলিণ্ডারের সহিত একটি সরু নল যুক্ত করিয়া U-আকৃতির একটি পাত্র প্রস্তুত করা হইয়াছে। সরু নলটির প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল α এবং বড় সিলিণ্ডারটির প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল β ধর। ঐ পাত্রে জল ঢালিয়া সরু নলে এবং মোটা নলে দুইটি উপযুক্ত পিস্টন লাগানো হইল।

হাইড্রোলিক প্রেসের মূলতত্ত্ব

এখন যদি সরু নলের পিস্টনের উপর W ওজন চাপানো হয় তবে বড় নলের পিস্টন যথাস্থানে ঠিক রাখিতে হইলে ঐ পিস্টনের উপর যে ওজন চাপাইতে হইবে তাহার মান, প্যাস্কেলের নিয়ম অনুসারে

$$\frac{W}{\alpha} \times \beta = \frac{\beta}{\alpha} W.$$

হাইড্রোলিক প্রেস

সুতরাং β যদি αর 1000 গুণ হয় তবে সরু নলের পিস্টনের উপর অল্প বল প্রয়োগ করিয়া বড় নলের পিস্টনে 1000 গুণ ঠেলা বা ঘাত পাওয়া যাইবে।

বর্ণনা—পুরু লোহার দেওয়াল যুক্ত মোটা সিলিণ্ডারের (যাহার প্রস্থচ্ছেদ $=\beta$) সহিত ঐরূপ পুরু দেওয়াল যুক্ত সরু নল (যাহার প্রস্থচ্ছেদ $=\alpha$) পরস্পরের সহিত ঐ প্রকার নল দ্বারা সংযুক্ত আছে। উভয় নল জল (বা তেল) দ্বারা পূর্ণ এবং উভয় নলের মুখে উপযুক্ত মাপের পিস্টন P_1 এবং P_2 আছে মোটা নলটির পিস্টনের

উপর একটি ধাতু-নির্মিত পাটাতন আছে ; ইহার উপর তুলা, কাপড় প্রভৃতি (যে সকল বস্তুর গাঁইট বাঁধা প্রয়োজন) রাখা হয়। ঐ পাটাতনের বরাবর উপরে B অনুভূমিক ধাতব পাত f f শক্ত ফ্রেমের সাহায্যে সংযুক্ত আছে।

সরু নলের মুখের পিস্টনের সহিত একটি হাতল h সংযুক্ত থাকে। উহা দ্বিতীয় শ্রেণীর লিভারের কাজ করে।

সরু নলটির নীচে V_1 ভাল্‌ভ বা কপাটিকা আছে এবং ঐ ভাল্‌ভের নীচে সরু নলের সহিত সংযুক্ত একটি নল আছে, উহা তরলের পাত্রে তরলের মধ্যে ডুবানো থাকে। সরু নলের হাতল h চাপিয়া দিলে V_1 ভাল্‌ভ নীচে চাপিয়া বসিয়া নলের মুখ আটকাইয়া দেয়, কিন্তু হাতলের সাহায্যে পিস্টন উপরে তুলিলে V_1 ভাল্‌ভ উপর দিকে খুলিয়া যায় এবং নীচ হইতে উপর দিকে জল উঠে।

মোটা নলের সহিত সংযুক্ত নলে V_2 ভাল্‌ভ আছে। সরু নলের হাতল h নামাইয়া উহাতে চাপ দিলে V_2 ভাল্‌ভ মোটা নলের ভিতর দিকে খুলিয়া গিয়া মোটা নলে জল প্রবেশ করে।

এইভাবে সরু নল হইতে বড় নলে জল পাঠাইয়া পিস্টন P_2 এবং পাটাতন ক্রমশ উপরে ঠেলিয়া তুলিতে পারা যায়। B শক্ত পাত এবং পাটাতনের মধ্যে বস্তা আটকাইয়া হাতল চাপিয়া প্রচণ্ড বলে বস্তাকে ঠেলিয়া দিয়া সংকুচিত করা চলে।

বড় পিস্টনের ক্ষেত্রফল β এবং ছোটটির ক্ষেত্রফল α হইলে সরু নলের পিস্টনের উপর F বল প্রযুক্ত হইলে বস্তার উপর $F.\frac{\beta}{\alpha}$ বল প্রযুক্ত হইবে।

চিত্রে যেভাবে হাতলের ব্যবস্থা দেখানো হইয়াছে তাহাতে হাতলে যত বল প্রযুক্ত হয়, তাহা অপেক্ষা কয়েকগুণ বেশী বল সরু নলের পিস্টনে প্রযুক্ত হইবে; কারণ উহা একটি দ্বিতীয় শ্রেণীর লিভারের কাজ করিতেছে।

যদি হাতলে P বল প্রয়োগ করা হয় এবং ফলে সরু নলের পিষ্টনে $mP=F$ বল প্রযুক্ত হয় $(m>1)$ তবে প্রকৃতপক্ষে হাতলে P বল দ্বারা আমরা বস্তাকে $mP.\frac{\beta}{\alpha}$ বলে ঠেলিতে সমর্থ হইব।

অর্থাৎ, ঐ ব্যবস্থায় প্রযুক্ত বল Pকে প্রকৃতপক্ষে $m.\frac{\beta}{\alpha}$ গুণ বাড়ানো যায়।

$m=2$ হইলে এবং $\frac{\beta}{\alpha}=1000$ হইলে আমরা এই যন্ত্রদ্বারা প্রযুক্ত বলকে 2000 গুণ বর্ধিত করিতে পারিব।

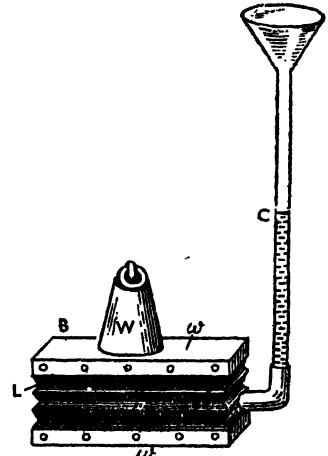
হাইড্রোলিক প্রেসের ব্যবহার—ঐরূপ যন্ত্র দ্বারা কাপড়, পাট ও কাগজের কলে ঐ সকল বস্তুর গাঁইট শক্ত করিয়া বাঁধা হয়। কখন কখন ইহা দ্বারা তৈলবীজ হইতে তৈল নিঃসরণ করা হয়।

এই যন্ত্রে জলের পরিবর্তে অনেক ক্ষেত্রে তৈল ব্যবহার করা হয়। মোটরের মেরামতের কারখানায় আস্ত গাড়ীকে উপরে তুলিয়া পরীক্ষা করিবার প্রয়োজন ঘটে। তখন উহাকে তৈলপূর্ণ হাইড্রোলিক প্রেস দ্বারা উপরে উঠানো হয়। ঐ কাজের জন্য বিশেষ ভাবে নির্মিত হাইড্রোলিক প্রেসকে গ্যারেজ-লিফ্‌ট (garrage lift) বলে।

3·32. হাইড্রোলিক বেলোস (Hydraulic bellows) বা ঔদক হাপর ঃ

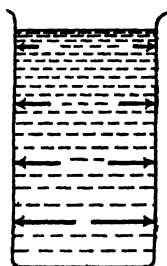
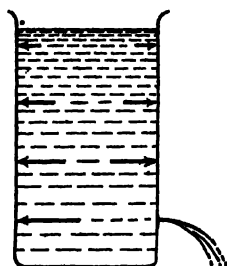
প্যাস্কেল জলের চাপের সঞ্চারণ দেখাইবার জন্য এই যন্ত্রটি উদ্ভাবন করিয়াছিলেন। সাধারণ চামড়ার হাপরের ন্যায় ইহাও একটি হাপর কিন্তু ইহা জল দ্বারা পূর্ণ এবং ইহার উপরে ও নীচে দুই টুকরা কাঠ সংযুক্ত আছে। ইহার সঙ্গে একটি পার্শ্বনল যুক্ত আছে। একটি উল্লম্ব কাঁচনল নীচের দিকে সমকোণে বাঁকাইয়া ঐ পার্শ্বনলের সহিত যুক্ত করিয়া দেওয়া থাকে।

ঔদক হাপর

নলে সামান্য জল ঢালিয়া উহার লেভেল উঁচু করিলে নলের জলস্তম্ভ দ্বারা প্রচুর চাপ উৎপন্ন করা চলিবে। ঐ চাপ হাপরের জলের সর্বত্র সমান ভাবে সঞ্চারিত হয়, ফলে হাপরের কাঠের টুক্‌রাখানা নীচ হইতে উপরদিকে যে মোট চাপ বা ঘাত পায়, তাহা ঐ চাপ এবং হাপরের উপরের ক্ষেত্রফলের গুণফলের সমান। সুতরাং কাঁচনলে সামান্য ওজনের জল রাখিলেই হাপরের উপরে বেশী ভারী ওজন রক্ষা করা চলে।

3·33. তরলের পার্শ্বচাপের অসাম্যাবস্থার ফলাফল ঃ

একটি জলপূর্ণ পাত্রের পার্শ্বে ছিদ্র করিলে জলের পার্শ্বচাপের জন্য ঐ দিক দিয়া জল বাহির হইয়া আসে। কিন্তু উপযুক্ত ব্যবস্থায় দেখানো যায় যে ঐ সময়ে পাত্রটি বিপরীত পার্শ্বে একটি ঠেলা পায়।

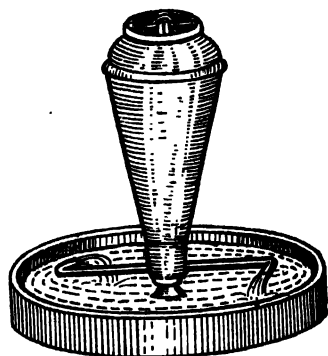
পার্শ্বের চিত্রে একটি জলপূর্ণ পাত্রের গায়ে যেভাবে পার্শ্বচাপ ক্রিয়া করিবে তাহা মোটামুটি ভাবে দেখানো হইয়াছে। গভীরতা যত বেশী, চাপ তত বেশী এবং দুই বিপরীত দিকে একই গভীরতায় সমান চাপ পড়িতেছে।

এখন যদি পাত্রের ডান দিকের সকলের নীচের তীর চিহ্নিত স্থানে পাত্রের দেওয়ালের এক খণ্ডের ক্ষেত্রফল α বর্গ সে. মি. হয় তবে ঐ গভীরতায় চাপ $h\rho$ গ্র্যাম-ভার হইবে এবং ঐ টুকরার উপর যে বল ক্রিয়া করিবে তাহার মান হইবে $h\alpha\rho$ গ্র্যাম-ভার। বিপরীত দিকে একই গভীরতায় সমান চাপ পড়িতেছে এবং α বর্গ সে.মি. স্থানে ঠিক ঐ পরিমাণ বল কার্যকরী হইয়াছে। এখন যদি ঐ ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট টুকরা ডান পাশ হইতে খসিয়া পড়ে তবে ঐ পাত্রে ডান দিকে $h\rho\alpha$ গ্র্যাম-ভার বল কার্যকরী হইতে পারিবে না সুতরাং বাম দিকের মোট কার্যকরী বল ডান দিকে ক্রিয়াশীল বল অপেক্ষা ঐটুকু ($h\alpha\rho$) বেশী হইবে; ফলে জল যে দিকে বাহির হইতেছে পাত্রটি তাহার বিপরীত দিকে একটি ঠেলা পাইবে।

তরলের পার্শ্বচাপের সাম্যাবস্থা — তরলের পার্শ্বচাপের অসাম্যাবস্থা

মনে কর, পাত্রের বিভিন্ন গভীরতায় পাত্রের গায়ে দুই বিপরীত দিকে যত চাপ পড়িতেছে তাহা যেন তীরচিহ্নের দৈর্ঘ্য দ্বারা প্রকাশিত হইল। যদি সকলের উপরের ছোট তীরটি এক একক এবং পর পর তীরগুলি দুই, তিন এবং চার একক চাপ নির্দেশ করে তবে বাম পাত্রের গায়ে বিপরীত দিকে দশ একক করিয়া চাপ পড়িবে এবং পাত্রের গায়ে কোন দিকে বেশী চাপ হইবে না।

যদি ডান পাশের চিত্রের ন্যায় নীচের ডান দিক হইতে এক অংশ খসিয়া যায় তবে ঐ দিকে জল বাহির হইয়া যাইবে এবং কোন চাপ দিবে না। ফলে জল পড়িতে আরম্ভ করিতে না করিতে পাত্রের বাম পাশে দশ একক কিন্তু ডান পাশে ছয় একক চাপ ক্রিয়া করিবে। এই কারণে পাত্রটি বাম দিকে অর্থাৎ যেদিকে জল বাহির হইতেছে উহার বিপরীত দিকে চার একক বেশী চাপ পাইবে। ফলে মোট ঘাত বা ঠেলা বাম দিকে বেশী হইবে। অল্প ঠেলায় পাত্রটির সরিবার ব্যবস্থা থাকিলে পাত্রটি ঐ দিকে সরিয়া যাইবে।

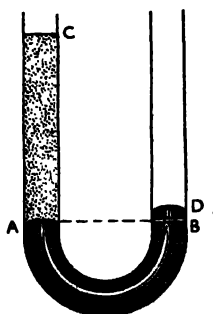
ইহা দেখাইবার জন্য হাইড্রোলিক টর্ণিকেট (hydraulic torniquet) বা বার্কারস্ মিল (Barkar's mill) ব্যবহার করা হয়।

বার্কারস্ মিল—একটি জলপাত্র একটি দণ্ডের চারিপাশে সহজেই ঘুরিতে পারে এইরূপ ব্যবস্থায় আটকানো থাকে। পাত্রের নাচে দুইটি (বা চারটি) অনুভূমিক নল হইতে পাত্রের জল নির্গত হইবার ব্যবস্থা আছে। ঐ নলগুলির শেষপ্রান্ত অনুভূমিক সমতলে থাকিয়াই একই দিকে (ধর ঘড়ির কাঁটার ঘূর্ণনের দিকে) একটু বাঁকিয়া আছে।

বার্কারস্ মিল

পাত্রে এক সঙ্গে জল ঢালিয়া পূর্ণ করিলে নলের দুই মুখ দিয়া জল বাহির হইবে এবং যে দিকে জল বাহির হইতেছে তাহার বিপরীত দিকে পাত্রটি ঘুরিতে থাকিবে। (84 পৃষ্ঠার শেষের চিত্র দ্রষ্টব্য)

3.34. U-নলে তরলের সাম্যাবস্থা ঃ

সংযুক্ত পাত্রে একই তরল পদার্থ ঢালিলে সকলগুলিতেই তরল বস্তুর উল্লম্ব গভীরতা সমান হয়।

কিন্তু যদি একটি U আকৃতির নলে প্রথমে পারদ ঢালিয়া পরে একদিকে জল ঢালা হয় তবে কি হইবে? জল না ঢালিলে পারদের উচ্চতা দুই দিকের নলেই সমান হইবে। কিন্তু U-নলের এক দিকে জল ঢালিলে, ঐ জলের চাপে পারদ ঐ দিকের নলে নীচে নামিয়া যাইবে এবং অপর নলে কিছু উপরে উঠিবে।

U-নলে দুই তরলের সাম্যাবস্থা

মনে কর U-নলের AC = h উচ্চতা পর্যন্ত জল আছে এবং বাঁকানো ABD অংশে পারদ আছে। নলের A বিন্দুতে জল এবং পারদের মিলনতল। A বিন্দুর ভিতর দিয়া অনুভূমিক সরলরেখা U-নলের অপর দিকে B বিন্দু ভেদ করিয়া যাইতেছে। পারদ একটি তরল পদার্থ, ইহার A এবং B বিন্দু একই অনুভূমিক রেখায় অবস্থিত। সুতরাং A বিন্দুতে চাপ = B বিন্দুতে চাপ।

A বিন্দুতে AC জলের স্তম্ভের চাপ পড়িতেছে $h\rho g$; B বিন্দুতে পারদের স্তম্ভের উচ্চতা BD $=h_1$, পারদের ঘনত্ব ρ_1 হইলে B বিন্দুতে চাপ $h_1 \rho_1 g$; সুতরাং যেহেতু A বিন্দুতে চাপ = B বিন্দুতে চাপ

$$\therefore \quad h\rho g = h_1 \rho_1 g \text{ অথবা } h\rho = h_1 \rho_1$$

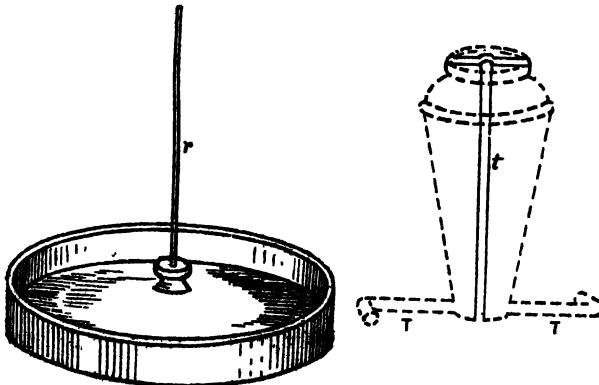
$$\frac{h}{h_1} = \frac{\rho_1}{\rho} = \frac{\text{জলের স্তম্ভের উচ্চতা}}{\text{পারদের স্তম্ভের উচ্চতা}} = \frac{\text{পারদের ঘনত্ব}}{\text{জলের ঘনত্ব}}$$

$$= \text{পারদের আপেক্ষিক গুরুত্ব}$$

পারদ ও জলের পরিবর্তে যে কোন এমন দুই প্রকার তরল পদার্থ লওয়া চলে যাহারা পরস্পরের সঙ্গে মিলিয়া যায় না বা রাসায়নিক ক্রিয়া ঘটায় না। সকল ক্ষেত্রেই $\frac{h}{h_1} = \frac{\rho_1}{\rho}$ এই সূত্র প্রযোজ্য। অর্থাৎ যে দুই তরল পদার্থ U-নলে সাম্যাবস্থা সৃষ্টি করিয়াছে তাহাদের পক্ষে

$$\frac{\text{দুই বস্তুর মিলনতল হইতে হাল্‌কা তরলের উচ্চতা}}{\text{দুই বস্তুর মিলনতল হইতে ভারী তরলের উচ্চতা}} = \frac{\text{ভারী তরলের ঘনত্ব}}{\text{হাল্‌কা তরলের ঘনত্ব}}$$

এখানে যে হিসাব দেখানো হইল তাহাতে U-নলের অনুপ্রস্থচ্ছেদ কোন কাজে লাগানো হয় নাই। সুতরাং নল মোটা অথবা সরু হউক (একদিকে চুলের মত সরু না হইলে), দুই তরলের উচ্চতার সহিত উহাদের ঘনত্বের সম্পর্ক একই থাকিবে।

বার্কারস্ মিলের আভ্যন্তরিক গঠন

r = নীচের পাত্রে সংযুক্ত দণ্ড t = উপরের পাত্রের মধ্যস্থ নল ; T T পার্শ্বনল

প্রশ্ন

1. প্যাস্কেলের নিয়ম বিবৃত কর এবং উপযুক্ত চিত্রের সাহায্যে উহা ব্যাখ্যা কর।

(State Pascal's law and explain it with the aid of suitable diagrams).

2. হাইড্রোলিক প্রেস বর্ণনা কর এবং উহার কাজ ব্যাখ্যা কর। আবশ্যক চিত্র আঁক।

(Describe a Hydraulic press and explain its action. Draw necessary diagram.)

3. একটি হাইড্রোলিক প্রেসের সরু নল অপেক্ষা মোটা নলের ক্ষেত্রফল 1000 গুণ বেশী। সরু নলের হাতলে 10 পাউণ্ড ভার চাপ দিলে লিভারের সাহায্যে উহা 8 গুণ বাড়িয়া সরু নলের পিস্টনের উপরে পড়ে। মোটা নলের পিস্টনে ঘাত কত হইবে?

(The cross section of the wider bore of a hydraulic press is 1000 times that of the smaller bore. The force exerted at the handle is multiplied by the lever 8 times. Find the thrust on the ram of the press when a force of 10 lbs weight is applied at the handle). [*Ans.* 80000 পাউণ্ড-ভার]

4. একটি ঔদক হাপরের পাটাতনের ক্ষেত্রফল 2500 বর্গ-সেণ্টিমিটার। ইহার উপর 50 k. g. (কিলোগ্রাম) ওজন চাপানো হইল। হাপরের মধ্যস্থ সর্বোচ্চ জলের লেভেল হইতে নলের জলের লেভেলের উচ্চতা কত?

(The upper surface of a hydrostatic bellows has an area of 2500 sq. cm. A weight of 50 k.g. is placed on it. What is the difference in level of water between the water in the bellows and that in the attached tube ?) [*Ans.* 20 সে. মি.]

5. বার্কারস মিল কেন ঘুরে বুঝাইয়া দাও।

(Explain how the Barker's mill turns).

6. U-নলে দুই তরলের সাম্যাবস্থার শর্ত কি? ঐ শর্ত প্রমাণ কর।

(What is the condition of equilibrium of two liquids in a U-tube ? Prove this.)

7. একটি U-নলে জল আছে। পরে ইহার ডান দিকে তেল ঢালা হইল। বাম দিকে জলের লেভেল U-নলের জল ও তেলের মিলনতল হইতে 4 ইঞ্চি উপরে থাকিলে ডান দিকে কত ইঞ্চি তেল আছে? (তেলের ঘনত্ব ·8 গ্রাম প্রতি ঘন সে. মি.)

(There is water in a U-tube. On the right limb oil is poured till the water level in the left limb stands higher by 4 inches over the common level of water and oil. (Density of oil is ·8 gm. per c.c.) What is the length of the column of oil ?

[*Ans.* 5 ইঞ্চি]

Additional Numerical Problems

1. A cylindrical tube of radius 4 c. m. and length 76 c. ms. is filled with mercury and kept vertically. What is the hydrostratic pressure at the base ? What is the thrust on the base ? [*Ans.* 1033 grams wt./sq. cm. ; 51928 grams wt. approx.]

2. The specific gravity of sea water is 1·025. What will be the pressure of water alone at a depth of 100 ft, ? [*Ans.* 6406·25 lbs. wt. per sq. ft.]

3. There are mercury, water and oil in the same jar. The height of the mercury column is 10 cms. that of the water 15 cms. and that of oil 20 cms. If the sp. gr. of mercury, and oil be 13·6 and ·8 respectively, find the pressure at the bottom of the jar. [*Ans.* 167 grams wt. per sq. cm.]

4. A U-tube of cross section 10 sq. cm. and of long limbs is placed with its limbs vertical and contains some mercury. Water is poured in one of the limbs till.

(i) the difference between the levels of mercury in the two limbs becomes 1 cm.

(ii) the level of mercury in the other rises by 1 cm.

Find the mass of water poured in the two cases respectively.

[*Ans.* (i) 136 grams. (ii) 272 grams.]

5. What is the pressure difference in water for a level-difference of 36 ft. ?

[*Ans.* $1\frac{1}{224}$ ton's weight per sq. ft.]

6. A glass cube of sides 5 cm. is suspended in water with its faces horizontal and vertical. The upper horizontal face is at a depth of 10 cm. Find the total mean pressures acting at the midpoints of the different faces.

[*Ans.* 312·5 gms. wt. on each vertical side. 250 gms. wt. on the upper horizontal surface downwards.

375 gms. wt. on the lower horizontal surface, upwards.]

Public Examination Questions.

1. Describe the principle of action of a Hydraulic press. Give a neat sectional diagram.

A bottle is completely filled with oil and corked. If the diameters of the neck and bottom of the bottle be one half inch and 3 inches respectively, calculate the thrust on the bottom when the cork is pressed with a force of 5 lbs. wt.

(H. S. 1961) [*Ans.* 180 lbs wt.]

2. Explain what you mean by the expression "Hydrostatic paradox."

You are given a litre of water. Describe an arrangement by means of which you can produce a force 100 times its own weight by the action of gravity alone.

Describe Brahma's hydraulic press and explain how it works. (C. U. I.Sc. 1942)

3. Explain the action of a hydraulic press.

The area of the small piston of a hydraulic press is 1 sq. ft. and that of the large piston 20 sq. ft. How much weight can be raised on the large piston by a force of 200 lbs. acting on the small pistion ? (C. U. I. Sc. 1946) [*Ans.* 4000 lbs.]

4. Explain the meanings of pressure and thrust as applied to a liquid.

How would you prove experimentally that the pressure at a point inside water is the same in all directions ?

The depth of a sea at a point is 4320 ft. What is the pressure in pounds per square inch at the bottom of the locality ?

[Neglect pressure of air on the surface, 1 cu. ft. of fresh water weighs 62·4 pounds ; sp. gr. of sea water 1·03] (H. S. comp. 1960)

5. Distinguish between pressure and thrust as applied to a liquid and find a relation between them.

Describe a simple experiment to prove that the pressure at a point with in a liquid, at rest, depends on the height of the liquid above that point.

(H. S. 1962)

চতুর্থ পাঠ

3.4. আর্কিমিদিসের নিয়ম এবং প্লবতা (Archimedes' principle and buoyancy) ঃ

তরল বস্তু মাত্রেরই প্লবতা গুণ আছে ; অর্থাৎ কোন বস্তু তরল পদার্থে ডুবাইলে ঐ তরল পদার্থ নিমজ্জিত বস্তুকে উপর দিকে ঠেলিয়া দেয়।

পরীক্ষা—একটা কর্ক লও। একটা কাঁচপাত্রে জল লইয়া কর্কটিকে জলের মধ্য চাপিয়া পাত্রের তলার সহিত ঠেকাইয়া রাখ। হাত ছাড়িয়া দিলেই দেখা যাইবে যে, কর্কটি উপরে উঠিয়া গেল।

কর্কটি পাত্রের তলায় ছিল, উপর দিকে ঠেলা না পাইলে উহা উপরে উঠিতে পারিত না। জলই ঐ নিমজ্জিত কর্ককে উপর দিকে ঠেলিয়া দিয়াছে।

এক টুকরা লোহাকেও জল উপর দিকে ঠেলিয়া দিবে ; কিন্তু লোহার ওজন বেশী বলিয়া ঐ অবস্থায় জল উহাকে ঠেলিয়া উপরে তুলিয়া দিতে পারিবে না বটে, কিন্তু নিমজ্জিত অবস্থায় উহার ওজন কিছু কমাইয়া দিবে। সেইজন্য কোন বস্তু জলে (অথবা অন্য কোন তরলে) নিমজ্জিত অবস্থায় কিছু ওজন হারায় বলিয়া মনে হয়।

তরলে নিমজ্জিত অবস্থায় বস্তুর ওজন কম বলিয়া মনে হয় ; ইহা নিম্নলিখিত পরীক্ষার দ্বারা দেখানো যায়—

পরীক্ষা—যে কোন আকৃতির একখানা লম্বা এবং মোটা ধাতুর টুকরা † নরম স্প্রিং-তুলার নীচের হুক হইতে সুতার সাহায্যে ঝোলাইয়া প্রদর্শিত ওজনের পাঠ লও। ইহার পর একটি জারের মধ্যে জল লইয়া ঐ জলে স্প্রিং-তুলায় ঝোলানো অবস্থায় ধীরে ধীরে ধাতুর টুকরাটি জলে ডুবাইতে থাক ; দেখিবে ক্রমশঃ স্প্রিং-তুলার ওজন নির্দেশক শলাকা উপরে উঠিয়া যাইতেছে এবং যখন ধাতুর টুকরাটি সম্পূর্ণরূপে জলে ডুবিয়া যাইবে তখন ওজন সবচেয়ে কম হইয়াছে দেখা যাইবে।

এইভাবে প্লবতার জন্য ওজনের হ্রাস হয় বলিয়া পুকুরের জলে কলসী নিমজ্জিত অবস্থায় আমরা এক কলসী জল একস্থান হইতে অন্যস্থানে সহজেই আনিতে পারি, কিন্তু পুকুরের জল হইতে কলসী উপরে তুলিয়া আনিলেই উহা বেশী ভারী বোধ হয়।

আর্কিমিদিসের নিয়ম—কোন বস্তু কোন তরল পদার্থে ডুবাইলে উহার ওজন ঠিক কতটা কমে বলিয়া মনে হয় তাহা আর্কিমিদিস নামক একজন গ্রীস দেশীয়

† এলুমিনিয়ামের ভাঙা কেটলির উপরের হাতল অথবা অন্য নিরেট টুকরা হইলে ভাল হয়। এলুমিনিয়াম হালকা ধাতু বলিয়া ওজনের তুলনায় আয়তন বেশী হইবে। সুতরাং অপসারিত জলের ওজনও বেশী হইবে, এবং ওজনের হ্রাস বেশী হইবে।

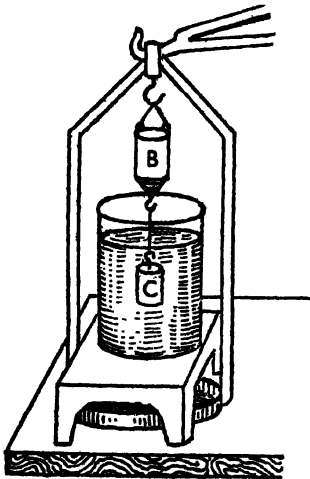
বিজ্ঞানী সর্বপ্রথম স্থির করেন। ইহার আবিষ্কৃত এই নিয়মকে আর্কিমিদিসের নিয়ম বলা হয়। নিয়মটি এই—

তরল পদার্থে সম্পূর্ণ বা আংশিকভাবে নিমজ্জিত অবস্থায় কোন বস্তু যত ওজনের তরল পদার্থ অপসারিত করে, নিমজ্জিত অবস্থায় ঐ বস্তুর ওজন ঠিক ততটা কমিয়া যায় বলিয়া মনে হয়।

আর্কিমিদিসের নিয়মের সত্যতা প্রমাণঃ

(1) ঔদক তুলা দ্বারা (By hydrostatic balance)—আর্কিমিদিসের নিয়ম পরীক্ষার জন্য একটি বিশেষ ব্যবস্থা আছে।

একটি সাধারণ তুলার একটি ষ্টিরাপ হইতে একটি সিলিণ্ডার আকৃতির শূন্য পাত্র B ঝুলিতেছে। ঐ পাত্রের নীচে একটি হুক আছে, তাহা হইতে একটি পিতলের দণ্ড C ঝোলানো আছে। ঐ দণ্ডটি এরূপ যে উহাকে Bর ভিতর বসাইলে ভিতরে একটুও ফাঁক থাকে না অথবা C দণ্ডের কোন অংশ বাহিরেও থাকে না—অর্থাৎ, শূন্য পাত্র B এর ভিতরের আয়তন C দণ্ডের আয়তনের সমান।

B এবং C কে পর পর চিত্র-প্রদর্শিত মতে বায়ুতে ঝোলাইয়া সঠিক ভাবে ওজন করা গেল। ইহার পর C দণ্ডটি একটি জলপূর্ণ পাত্রে সম্পূর্ণরূপে ডুবাইয়া * রাখিলে দেখা যাইবে যে, বামদিকের তুলাপাত্রটি উপরে উঠিয়া গেল। ইহাতে প্রমাণিত হইল যে জলে ডুবানো অবস্থায় C দণ্ডের ওজন পূর্বের চেয়ে কম হইয়াছে।

আর্কিমিদিসের নিয়ম পরীক্ষা

এখন শূন্য পাত্রটিকে জল দ্বারা কানায় কানায় পূর্ণ করিলে দেখা যাইবে যে ওজন আবার ঠিক হইয়া গেল। ইহাতে বোঝা গেল যে শূন্য পাত্রে যত ওজনের জল ধরে Cএর ওজন জলে নিমজ্জিত অবস্থায় ঠিক ততটা কমিয়া যায়। কিন্তু C দণ্ড জলে প্রবেশ করিলে উহার সম-আয়তন জল অপসারিত হয়, আর শূন্য পাত্রে যে জল ধরে তাহার আয়তনও Cএর আয়তনের সমান। সুতরাং দণ্ডটি জলে নিমজ্জিত অবস্থায় যত জল অপসারণ করিয়াছে, তাহার ওজনও ঠিক ততটাই কমিয়া গিয়াছে। ইহাতে আর্কিমিদিসের নিয়ম প্রমাণিত হইল।

* C দণ্ডকে জলে ডুবাইবার জন্য তুলাপাত্রের উপর একটি কাঠের সেতু বসাইয়া তাহার উপর জলপূর্ণ বীকারটি বসাইতে হয়।

এইবার একটি বীকারে উপযুক্ত পরিমাণ জল লইয়া একটি সাধারণ তুলার তুলাপাত্রে বসাইয়া উহার পাশে বীকারের বাহিরে C দণ্ডটিও রাখ। দণ্ডটি এবং বীকারসুদ্ধ জল ওজন কর। এখন দণ্ডটি ঐ বীকারের জলের মধ্যে ডুবাইয়া রাখ এবং আবার ওজন দেখ।

দেখিবে ওজনের পার্থক্য হয় নাই।

ইহা হইতে প্রমাণ হইল যে **তরলে নিমজ্জিত অবস্থায় বস্তুর প্রকৃত ওজন কমিয়া যায় না।**

(২) স্প্রিং-তুলা এবং পার্শ্বনল যুক্ত জারের সাহায্যে—বড় একখণ্ড কাঁচকে সুতা দ্বারা ঝোলাইয়া স্প্রিং-তুলা দ্বারা ওজন কর। পার্শ্বনল যুক্ত জারকে এমন ভাবে জলপূর্ণ করিয়া রাখ যে পার্শ্বনল হইতে জল ফোঁটা ফোঁটা করিয়া পড়িয়া জল পড়া বন্ধ হইয়াছে। এখন পার্শ্বনলের নীচে পূর্বে ওজন করা একটি শুষ্ক বীকার রাখ। এইবার স্প্রিং-তুলায় ঝোলানো অবস্থায় ঐ কাঁচখণ্ডকে জারের জলের মধ্যে ডুবাইয়া দিয়া স্প্রিং-তুলার পাঠ লও। বীকারে পার্শ্বনল হইতে পতিত জল সংগ্রহ কর। ঐ জল সহ বীকার আবার ওজন করিয়া জলের ওজন নির্ণয় কর। দেখা যাইবে যে স্প্রিং-তুলার পাঠ যত কম হইয়াছে, অপসারিত জলের ওজনও তত। ইহাতে আর্কিমিদিসের নিয়মের সত্যতা প্রমাণিত হইল।

3·4 1. ভাসন (Floatation) :

একখণ্ড লোহাকে সুতা দ্বারা ঝোলাইয়া বায়ুতে রাখিলে উহা যত ভারী বোধ হইবে, জলে ডুবাইয়া রাখিলে তাহার চেয়ে কম ভারী বোধ হইবে; ইহার কারণ লোহার উপর পৃথিবীর আকর্ষণজনিত যে বল নীচের দিকে ক্রিয়া করে, তাহার বিপরীত দিকে জলের প্লবতা ক্রিয়া করিয়া ঐ ওজন কমাইয়া দেয়। যদি এমন কোন বস্তু আমরা জলে ডুবাইয়া রাখি যে উহার যত ওজন, প্লবতার জন্য উহার উপর জলের ঊর্ধ্বচাপও ঠিক তত, তাহা হইলে ঐ বস্তু-সংলগ্ন সুতায় কোন টানই পড়িবে না; অথবা আমরা কোন ওজন বুঝিতে পারিব না; অর্থাৎ তখন বস্তুটি জলে ভাসিতে থাকিবে। কর্ক সুতা দ্বারা ঝোলাইয়া জলে ছাড়িয়া দিলে ঐরূপ ব্যাপার ঘটিবে।

সুতরাং কোন জিনিস কোন তরলে স্বচ্ছন্দে ভাসমান অবস্থায় আছে দেখিলেই বুঝিতে হইবে যে, ঐ বস্তুর ওজন যত, বস্তুর উপর তরলের প্লবতাও তত। কিন্তু প্লবতা, বস্তু দ্বারা অপসারিত তরল পদার্থের ওজনের সমান। সুতরাং,

স্বচ্ছন্দে ভাসমান বস্তুর ওজন = ভাসমান বস্তু দ্বারা অপসারিত তরল পদার্থের ওজন।

কিন্তু কোন বস্তুর ওজন উহার ভারকেন্দ্রের* (centre of gravity) ভিতর দিয়া নীচের দিকে ক্রিয়া করে, এবং প্লবতা অথবা বস্তু দ্বারা অপসারিত তরলের ওজন ঐ তরলের প্লাবকেন্দ্রের† (centre of buoyancy) ভিতর দিয়া উপর দিকে ক্রিয়া করে ; সুতরাং ঐ দুই বিন্দু একই উল্লম্ব রেখায় অবস্থান না করিলে বস্তু ঘুরিয়া যাইবে। সেইজন্য স্বচ্ছন্দে ভাসমান বস্তুর সাম্যাবস্থার বা স্থিরত্বের জন্য বস্তুর ভারকেন্দ্র এবং প্লাবকেন্দ্র একই উল্লম্ব রেখায় থাকা আবশ্যক।

সুতরাং স্বচ্ছন্দে ভাসমান বস্তুর ভাসিবার শর্ত দুইটি—

(1) স্বচ্ছন্দে ভাসমান বস্তুর ওজন=ভাসমান বস্তু দ্বারা অপসারিত তরলের ওজন।

(2) ভাসমান বস্তুর ভারকেন্দ্র এবং অপসারিত তরলের প্লাবকেন্দ্র একই উল্লম্ব রেখায় অবস্থান করিবে।

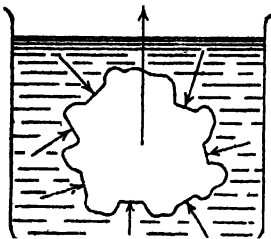
কোন্ জিনিস ভাসিবে এবং কোন্ জিনিস ডুবিবে ?

মনে কর কোন বস্তুর ওজন W এবং উহাকে সম্পূর্ণ ভাবে কোন তরলে ডুবাইয়া দিলে যত তরল অপসারিত হয় তাহার ওজন W_1।

এখন যদি (1) $W>W_1$ হয় তবে বস্তু ডুবিয়া যাইবে। যেমন লোহার টুকরা জলে ডুবিয়া যায় ; কারণ লোহার টুকরার ওজন ঐ টুকরা দ্বারা অপসারিত জলের ওজন অপেক্ষা বেশী।

(2) $W=W_1$ হয় তবে বস্তুটি সম্পূর্ণ নিমজ্জিত অবস্থায় তরলের মধ্যে ভাসিবে। যেমন, পচা কাঠ জলের মধ্যে ভাসিয়া থাকে।

(3) $W<W_1$ হয় তবে বস্তুর সকল অংশ ডুবিবার প্রয়োজন ঘটিবে না, কারণ তখন সব অংশ না ডুবিলেও অপসারিত জলের ওজন বস্তুর ওজনের সমান হইয়া

* বস্তুর বিভিন্ন অংশগুলিকে পৃথিবী উহার নিজ কেন্দ্রের দিকে আকর্ষণ করে। ঐ সকল অংশের আকর্ষণের যোগফল ঐ বস্তুর মোট ওজন। পৃথিবীর আকর্ষণ-জনিত ঐ বল বা ওজন একটি নির্দিষ্ট বিন্দুর ভিতর দিয়া নীচের দিকে ক্রিয়া করে। ঐ বস্তু সম্পর্কে ঐ নির্দিষ্ট বিন্দুকে বস্তুর ভারকেন্দ্র বলে।

† কোন বস্তু তরলে ডুবাইলে তরলের সহিত বস্তুর যে সকল স্থানে সংস্পর্শ হয়, তাহার প্রত্যেক বিন্দুতে গভীরতার সমানুপাতিক চাপ লম্ব ভাবে ক্রিয়া করে। ঐ সকল চাপের তরলের ঊর্ধ্ব চাপ প্লাবকেন্দ্রে ক্রিয়া করে ফলে একটি ঊর্ধ্বচাপ ক্রিয়া করে এবং ইহা একটি নির্দিষ্ট বিন্দুর (বস্তু সম্পর্কে) ভিতর দিয়া যায়। ঐ বিন্দুকে প্লাবকেন্দ্র বলে।

যাইবে। যেমন, কর্ক জলে ভাসে। উহার এক অংশ মাত্র জলে ডুবিলেই ইহার নিজের ওজনের জল অপসারিত হইয়া যায়।

জাহাজ জলে ভাসে কেন?

জাহাজকে জলে ভাসাইতে হইলে ভাসমান অবস্থায় মালসুদ্ধ জাহাজের ওজন অপসারিত জলের ওজনের সমান হওয়া আবশ্যক। সেইজন্য জাহাজের খোলটা ফাঁপা রাখিয়া নীচ দিক অবতল আকৃতি করিয়া উহা প্রস্তুত করা হয়।

ফলে উহা কাত না হইয়া সোজাভাবে জলে ডুবিতে চায় কিন্তু সম্পূর্ণ ডুবিবার আগেই মালসুদ্ধ নিজের ওজনের জল অপসারণ করিতে সক্ষম হয় বলিয়া না ডুবিয়া জলে ভাসিতে থাকে।

কিন্তু জাহাজের জলে ভাসা এবং কর্কের জলে ভাসার মধ্যে প্রভেদ আছে। যে সকল বস্তু জল অপেক্ষা হাল্‌কা অর্থাৎ যাহাদের আপেক্ষিক গুরুত্ব 1 এর কম—যেমন, এক টুকরা মোম, কর্ক বা বরফ, উহাদের যে কোন আকৃতির এক খণ্ড জলে ছাড়িয়া দিলে উহার সম্পূর্ণ অংশ জলে ডুবিবার পূর্বেই উহা নিজের ওজনের জল অপসারিত করিতে সক্ষম হয়; সুতরাং এক অংশ জলের উপরে রাখিয়াই উহারা জলে ভাসে। এরূপ স্থলে ভাসমান বস্তুর আকৃতি যে কোন রকম হইতে পারে এবং যে কোন প্রকারে উহাদিগকে জলে ছাড়িয়া দিলেও উহারা জলে ভাসিবে এমন কি ডুবাইয়া দিলেও আবার ভাসিয়া উঠিবে।

কিন্তু জল অপেক্ষা ভারী পদার্থের নির্মিত পাত্র—যেমন, লোহার তৈরি কড়াই বা জাহাজ জলে ভাসাইতে হইলে,

(i) উহাকে এক বিশেষ আকৃতি যুক্ত করা আবশ্যক এবং

(ii) বিশেষ প্রকারেও উহাকে জলে রাখা আবশ্যক।

কারণ, কড়াইকে কাত করিয়া জলে ডুবাইয়া দেওয়া যায় এবং ঝড়ে কাত হইয়া জাহাজ জলে ডুবিয়া যাইতে পারে এবং একবার ডুবিলে আর ভাসিয়া উঠে না।

তরলে ভাসমান হাল্‌কা নিরেট কঠিন বস্তুর আয়তনের কত অংশ তরলের উপরে থাকে?

মনে কর, ভাসমান বস্তুর আয়তন V, ঘনত্ব ρ এবং আপেক্ষিক গুরুত্ব S। উহা যে তরল পদার্থে ভাসিতেছে তাহার ঘনত্ব ρ', আপেক্ষিক গুরুত্ব S' এবং উহা যে আয়তনের তরল পদার্থ অপসারিত করিয়াছে তাহার মান V'

$\because$ ভাসমান বস্তুর ওজন = অপসারিত তরল পদার্থের ওজন।

$\therefore$ ভাসমান বস্তুর ভর = অপসারিত তরলের ভর

$$V \times \rho \quad = V' \times \rho'$$

$$\therefore \frac{V'}{V} = \frac{\rho}{\rho'} = \frac{S}{S'}$$

ভাসমান বস্তুর আয়তন V এবং ইহা V′ আয়তনের তরল অপসারণ করিয়াছে, সুতরাং কঠিন বস্তুর V′ আয়তন তরলের মধ্যে রহিয়াছে। তরলের বাহিরে আছে (V − V′) আয়তন। উহা ভাসমান বস্তুর সম্পূর্ণ আয়তনের $\frac{V-V'}{V}$ অংশ।

এখন $\frac{V'}{V} = \frac{\rho}{\rho'}$

$$1 - \frac{V'}{V} = 1 - \frac{\rho}{\rho'}$$

$$\frac{V-V'}{V} = \frac{\rho' - \rho}{\rho'} = \frac{S' - S}{S'}$$

$$\frac{\text{ভাসমান বস্তুর তরলের উপরে অবস্থিত অংশের আয়তন}}{\text{ভাসমান বস্তুর সম্পূর্ণ আয়তন}} = \frac{\text{তরল ও কঠিনের আপেক্ষিক গুরুত্বের প্রভেদ}}{\text{তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব}}$$

অঙ্ক—(1) কর্কের আপেক্ষিক গুরুত্ব ·25। একটা কর্ক জলে ভাসিলে উহার আয়তনের কত অংশ জলের উপরে থাকিবে?

কর্কের আপেক্ষিক গুরুত্ব ·25 = S

জলের... ... .. 1 = S′

$$\therefore \frac{S'-S}{S'} = \frac{1 - \cdot 25}{1} = \cdot 75$$

অর্থাৎ, ঐ প্রকার কর্ক জলে ভাসিলে উহার $\frac{3}{4}$ অংশ জলের উপরে জাগিয়া থাকিবে।

(2) (ক) বরফের আপেক্ষিক গুরুত্ব ·918; এক টুকরা বরফের আয়তনের কত অংশ জলের উপরে থাকিয়া ভাসিবে?

বরফের আ. গু. = ·918

জলের......... = 1

$$\therefore \frac{S'-S}{S'} = \frac{1 - \cdot 918}{1} = \cdot 082 = \frac{82}{1000} \text{ অংশ}$$

$= \frac{1}{12}$ অংশ প্রায়

(2) (খ) বরফের আপেক্ষিক গুরুত্ব '918 ; সমুদ্র-জলের আপেক্ষিক গুরুত্ব 1'03। যে হিমশৈলের 700 ঘন গজ সমুদ্র-জলের উপরে ভাসিতেছে উহার সম্পূর্ণ আয়তন কত ? [C. U. I. Sc. 1932]

$$\frac{V-V'}{V}=\frac{S'-S}{S'}$$

এস্থলে $V-V'=700$ ঘন গজ

$V=$ জ্ঞাতব্য

$S'-S=1{\cdot}03-{\cdot}918={\cdot}112$

$S'=1{\cdot}03$

$$\therefore \quad \frac{700}{V}=\frac{{\cdot}112}{1{\cdot}03}$$

$$\therefore \quad V=\frac{700\times 1{\cdot}03}{{\cdot}112} \text{ ঘন গজ}$$

$=6437{\cdot}5$ ঘন গজ

দ্রষ্টব্য—এস্থলে $\frac{S'-S}{S'}=\frac{{\cdot}112}{1{\cdot}03}=\frac{V-V'}{V}$

$\therefore$ সমুদ্র-জলে বরফের $\frac{{\cdot}112}{1{\cdot}03}$ অংশ বা প্রায় $\frac{1}{9}$ অংশ উপরে ভাসিয়া থাকে।

(2) (গ) কেরোসিনের আপেক্ষিক গুরুত্ব '80 এবং কর্কের '24 হইলে কেরোসিনে কর্ক ভাসাইলে উহার কত অংশ কেরোসিনের উপরে ভাসিয়া থাকিবে ?

$$\frac{S'-S}{S'} \text{ অংশ অর্থাৎ } \frac{{\cdot}80-{\cdot}24}{{\cdot}80} \text{ অংশ বা } \frac{56}{80} \text{ অংশ } =\frac{7}{10} \text{ অংশ।}$$

সাঁতার কাটা—সাঁতার কাটিবার সময় আমরা জলে সর্বশরীর ডুবাইয়া কেবল মাথা জলের উপর ভাসাইয়া চলি। মানুষের শরীর জলে ডুবিয়া গেলে যে পরিমাণ জল অপসারিত হয়, তাহা সাধারণত মানুষের ওজন অপেক্ষা কম হয়। সুতরাং আমরা স্বচ্ছন্দে জলে ভাসিতে পারি না। মানুষের মাথা সম-আয়তন জল অপেক্ষা ভারী, কিন্তু শরীরের অন্যান্য অংশ সম-আয়তন জল অপেক্ষা ভারী নহে। আবার সাঁতার কাটিবার সময় মাথা ডুবাইলে আমরা শ্বাস টানিতে পারি না ; তাই সাঁতার কাটিবার সময় জলের মধ্যে হাত পা ছুঁড়িয়া আমরা মাথাকে জলের উপরে রাখিতে শিক্ষা করি। এবং সাঁতার কাটা শিখিলে হাত দ্বারা জল টানিয়া এবং পা দ্বারা জল ঠেলিয়া মাথা জলের উপরে রাখিয়া আমরা জলের মধ্যে একস্থান হইতে অন্যস্থানে যাইতে পারি।

সুতরাং মাথাকে জলের উপর ভাসাইয়া রাখিবার কৌশল শিক্ষাই সাঁতার কাটা শেখা।

সাঁতার কাটা শিখিবার সময় নূতন শিক্ষার্থীরা শ্বাস বন্ধ করিয়া মাথা প্রায়ই জলের মধ্যে ডুবাইয়া সাঁতার কাটিতে চেষ্টা করে; কারণ মাথা জলে ডুবাইলে মাথা দ্বারা অপসারিত জলের ওজনের ঊর্ধ্বচাপ পাওয়া যায়, ফলে অল্প সময়ের জন্য হইলেও ভাসিয়া থাকিবার পক্ষে একটু সুবিধা পাওয়া যায়।

বিরাট ভুঁড়িওয়ালা লোক হাত পা না নাড়িয়াও জলে ভাসিয়া থাকিতে পারে, কারণ ভুঁড়িতে যে চর্বি থাকে তাহা সম-আয়তন জলের তুলনায় অনেক হাল্‌কা; তাই মাথার অর্ধেক জলে ডুবাইয়া ইহারা স্বচ্ছন্দে জলে ভাসিয়া থাকিতে পারে।

গভীর ভাবে শ্বাস টানিয়া বুক ফুলাইয়া লইয়া জলের মধ্যে ডুব দিলে অপেক্ষাকৃত সহজে জলে ভাসিয়া থাকা যায়।

সমুদ্রের জল লোনা বলিয়া উহার আপেক্ষিক গুরুত্ব সাধারণ নদী বা পুকুরের জলের চেয়ে বেশী। সুতরাং নদীর জলে গলা পর্যন্ত শরীর ডুবাইলে যত ওজনের জল অপসারিত হয়, সমুদ্রের জলে সেই পর্যন্ত শরীর ডুবাইলে ইহার চেয়ে বেশী ওজনের জল অপসারিত হয়, সুতরাং ঊর্ধ্বচাপ বা প্লবতা বেশী পাওয়া যায়। সেই কারণে নদী বা পুকুরের জল অপেক্ষা সমুদ্রের জলে সাঁতার কাটা সহজ।

কার্টিসিয়ান ডাইভার (Cartesian Diver):

একটি কাঁচের জারের উপরের দিকে সামান্য একটু স্থান খালি রাখিয়া বাকীটা জল দ্বারা পূর্ণ করা আছে; ইহার মধ্যে একটি পুতুল মাথাটা জলের সমতলে রাখিয়া ভাসিতেছে। জারের মুখ একখানা রবারের পর্দা দ্বারা বায়ু নিরুদ্ধ করিয়া বাঁধিয়া রাখা হইয়াছে। ঐ রবারের পর্দায় চাপ দিলে পুতুলটি জলের নীচে ডুবিতে আরম্ভ করে, চাপ বাড়াইলে পুতুলটি আরও নীচে যাইতে থাকে, এবং চাপ ছাড়িয়া দিলে পুতুলটি আবার ভাসিয়া উঠে। ঠিকমত চাপ নিয়ন্ত্রণ করিয়া পুতুলটিকে যে কোন গভীরতায় ভাসাইয়া রাখা যায়। ঐ ডুবুরী পুতুলকে কার্টিসিয়ান ডাইভার বলে।

প্রকৃতপক্ষে পুতুলটির একটি বিশিষ্ট গঠন আছে, উহা সাধারণ নিরেট পুতুল নহে। ইহার ভিতরটা ফাঁপা এবং ঐ ফাঁপা অংশের সহিত একটি বাঁকা নল যুক্ত আছে।

পর-পৃষ্ঠার চিত্রের বামদিকের অংশের ন্যায় একটি ফাঁপা কাঁচের বলের সঙ্গে একটি বাঁকা নল যুক্ত আছে। ঐ নলের মুখ খোলা। ইহার মধ্যে উপরে বায়ু ও নীচে

জল আছে। ঐরূপ একটি পাত্রের উপর ডুবুরীর আকৃতি দেওয়া হইয়াছে। ইহার মধ্যে পরিমাণ মত জল ঢুকাইয়া ইহাকে উল্লম্বভাবে জলে ভাসাইয়া রাখা যায়। ঐ অবস্থায় পুতুল ও তন্মধ্যস্থ জলের ওজন পুতুল দ্বারা অপসারিত জলের ওজন।

এখন রবারের পর্দায় চাপ দিলে জারের জলের উপরের বায়ুতে চাপ পড়ে। বায়ুর মধ্য দিয়া ঐ চাপ জলের উপর পড়ে এবং প্যাস্কেলের নিয়ম অনুসারে ঐ চাপ অপরিবর্তিত হারে জলের সর্বত্র সঞ্চারিত হয়। ফলে কিছু জল পুতুলের মধ্যে ঢুকিয়া গিয়া পুতুলকে ভারী করিয়া তোলে এবং ভিতরের বায়ু সংকুচিত হয়; এই অবস্থায় অপসারিত জলের ওজন বাড়ে না, সুতরাং নিজের ওজন বেশী হওয়ায় পুতুল ডুবিয়া যায়। আবার পর্দার উপর হইতে চাপ সরাইয়া নিলে পাত্রে আবদ্ধ বায়ুর চাপ কমে, ফলে জলের উপর চাপ কমে এবং পুতুলের ভিতরের চাপযুক্ত বায়ু তখন আবার প্রসারিত হইয়া পুতুলের ভিতর হইতে অতিরিক্ত জল ঠেলিয়া বাহির করে। সুতরাং পুতুল আবার আগের ন্যায় হাল্‌কা হয় এবং উপরে ভাসিয়া উঠে।

কার্টিসিয়ান ডাইভার

পুতুলের ভিতরে জল যে পর্যন্ত উঠে, সেই লেভেলে জারের বায়ুর চাপ ও জলের চাপের সমষ্টি যত, পুতুলের ভিতরের বায়ুর চাপ তত হইলে পুতুল ঐ লেভেলে ভাসিবে। সুতরাং চাপ নিয়ন্ত্রণ করিয়া উহাকে যে কোন লেভেলে ভাসাইয়া রাখা যায়।

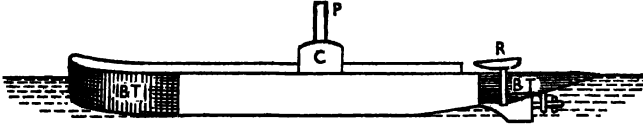
যদি জার লম্বা হয় এবং রবারের পর্দা হঠাৎ জোরে চাপিয়া দিয়া পুতুলটিকে জারের মধ্যে এত নীচে লইয়া যাওয়া যায় যে পুতুলের ভিতরের বায়ুর চাপ অপেক্ষা ঐ গভীরতায় জারের জলের চাপ বেশী হয়, তবে রবারের পর্দার উপর হইতে চাপ সরাইয়া নিলেও পুতুল আর ভাসিয়া উঠিতে পারিবে না, বাহিরের চাপ বেশী হওয়ায় পুতুলের ভিতরের সংকুচিত বায়ু আর প্রসারিত হইতে পারিবে না এবং প্রয়োজনীয় জল পুতুল হইতে বাহির হইবে না।

এই যন্ত্রের পুতুল যে ভাবে জলে উঠানামা করে, তত্ত্ব হিসাবে সাবমেরিণ বা ডুবোজাহাজও সমুদ্রের জলে ঐ ভাবেই উঠানামা করে।

সাবমেরিণ—সাবমেরিণের কয়েকটি প্রকোষ্ঠ হইতে চাপযুক্ত বায়ুর সাহায্যে খুব দ্রুত জল বাহির করিয়া দেওয়া যায়, ফলে সাবমেরিণ হাল্‌কা হইয়া জলে ভাসে।

আবার ঐ বায়ু প্রকোষ্ঠগুলি হইতে বাহির করিয়া দিয়া ঐগুলি প্রয়োজনমত জল দ্বারা পূর্ণ করা যায় এবং সাবমেরিণ তখন ডুবিয়া যায়।

প্রকোষ্ঠগুলির মধ্যে চাপ নিয়ন্ত্রণ করিয়া সাবমেরিণকে নির্দিষ্ট গভীরতায় ডুবাইয়া রাখা যায়।

সাবমেরিণ

B. T—ব্যালাস্ট ট্যাঙ্ক; ঐ স্থান দ্রুত জলপূর্ণ বা জলশূন্য করা চলে

কার্টিসিয়ান ডাইভারের সাহায্যে বস্তুর ভাসিবার এবং ডুবিবার শর্তগুলি প্রমাণ করা যায়। ইহার সাহায্যে সাবমেরিণের ভাসা ও ডোবা ব্যাখ্যা করা যায়; কৌতুকপ্রদ পুতুল হিসাবেও ইহাকে ব্যবহার করা হয়।

প্রশ্ন

1. আর্কিমিদিসের নিয়ম বিবৃত কর এবং কি ভাবে ইহা প্রমাণ করা যায় উপযুক্ত চিত্রের সাহায্যে বর্ণনা কর।

জলে নিমজ্জিত অবস্থায় বস্তুর ওজন সত্য সত্যই কি কমিয়া যায়? তোমার উত্তর সমর্থনের জন্য উপযুক্ত পরীক্ষা বর্ণনা কর।

(State Archimedes' principle and explain with a diagram how it can be verified.

Does a body really lose weight when immersed in water? Describe a suitable experiment in support of your answer.)

2. কোন তরলে স্বচ্ছন্দে ভাসমান বস্তুর শর্তগুলি লিখ।

একটি লোহার টুকরা জলে ডুবিয়া যায়, কিন্তু লোহার তৈরি কড়াই অথবা বড় জাহাজ জলে ভাসে। কিরূপে ইহা সম্ভবপর হয় বুঝাইয়া দাও।

এক খণ্ড মোমের জলে ভাসা এবং একটি নৌকার জলে ভাসার মধ্যে পার্থক্য কি?

(State the conditions of floatation of a freely floating body).

A piece of iron sinks in water, but a pan or a ship made of iron floats. Explain how this is possible.

What is the difference between the floatation of a piece of paraffin and a boat in water?

3. প্যারাফিন অয়েলের আপেক্ষিক গুরুত্ব ·95 এবং মোমের আপেক্ষিক গুরুত্ব ·85; এক খণ্ড মোম প্যারাফিন অয়েলে ছাড়িয়া দিলে উহার আয়তনের কত অংশ ডুবিবে?

(The specific gravity of paraffin oil is ·95 and that of wax is ·85. What fraction of the piece of wax will sink in paraffin oil?) [Ans. $\frac{17}{19}$ অংশ]

4. পারদের আপেক্ষিক গুরুত্ব 13·6 এবং লোহার আপেক্ষিক গুরুত্ব 7·87. পারদের মধ্যে লোহার টুকরা ছাড়িলে উহার কত অংশ পারদের উপরে জাগিয়া থাকিয়া ভাসিবে ?

(Specific gravity of mercury is 13·6 and that of iron is 7·87. What fraction of iron will be above the surface of mercury when iron floats in mercury.)

[*Ans.* $\frac{3}{7}$ অংশ প্রায়]

5. এক ঘন সেণ্টিমিটার আয়তনের সীসা (আপেক্ষিক গুরুত্ব 11·4) এবং 21 ঘন সেণ্টিমিটার আয়তনের কাঠ (আপেক্ষিক গুরুত্ব 0·5) একত্র আটকাইয়া দেওয়া হইয়াছে। ঐ একত্রবদ্ধ জিনিসটি জলে ভাসিবে কি ডুবিবে ?

(A cubic c. m. of lead of sp. gr. 11·4 and a piece wood of sp. gr. 0·5 and volume 21 c. c. m. are tied together. Will the combination float or sink in water) ?

[*Ans.* ভাসিবে ; কাঠের ·1 ঘ. সে. মি. জলের উপরে থাকিবে]

6. এক খণ্ড লোহার ওজন 272 গ্র্যাম। ইহা পারদের উপর ভাসিতেছে। পারদের আপেক্ষিক গুরুত্ব 13·61. যদি লোহার আয়তনের $\frac{5}{8}$ অংশ পারদের নীচে থাকে তবে লোহার আয়তন ও ঘনত্ব নির্ণয় কর।

(A piece of iron weighs 272 grams and is floating on mercury. The sp. gr. of mercury is 13·61. If $\frac{5}{8}$ this of its volume is under water, find the volume and density of the piece of iron.) [*Ans.* 32 ঘ. সে. মি. ; 8·5 গ্র্যাম/ঘ. সে. মি.]

7. একটি বস্তু উহার আয়তনের $\frac{1}{4}$ অংশ জলের উপরে রাখিয়া ভাসে। ঐ বস্তুটি যদি 1·2 আপেক্ষিক গুরুত্ববিশিষ্ট তরলে রাখা হয় তবে ইহার কত অংশ তরলের উপর থাকিবে।

(A body floats with $\frac{1}{4}$ part of its volume above water. If it is placed in a liquid of sp. gr. 1·2, what part of its volume will be above the surface of the liquid ?

[*Ans.* $\frac{3}{8}$ অংশ]

8. কার্টিসিয়ান ডাইভার কি জিনিস ? ইহার সম্পর্কে যাহা জান লিখ।

(What is a Cartesian Diver ? Write a note on it.)

9. সাবমেরিণ কিরূপে জলে ভাসে ও ডোবে ?

(How does a submarine float or sink in water ?)

10. পুকুরের জলে সাঁতার কাটা অপেক্ষা সমুদ্রের জলে সাঁতার কাটা সহজ হয় কেন ?

(Why is it easier to swim in sea water than in water in an ordinary pond.)

পঞ্চম পাঠ

3.5. আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়ে আর্কিমিদিসের নিয়মের প্রয়োগ ঃ

প্লবতার হিসাব– আংশিক বা সম্পূর্ণরূপে কোন কঠিন বস্তু কোন তরলে ডুবাইলে উহার ওজন যতটা কমে বলিয়া মনে হয় তাহার পরিমাণ মোট ঊর্ধ্ব চাপের সমান এবং উহাই তরলের প্লবতার মাপ।

মনে কর, একটি কঠিন বস্তুর ওজন W এবং উহা যখন জলে সম্পূর্ণ ডুবানো হইল তখন নিমজ্জিত অবস্থায় ইহার ওজন হইল W_1 ; তাহা হইলে ওজনের আপাত হ্রাস $W - W_1$ = প্লবতা।

কিন্তু ইহাই ঐ বস্তুর সম-আয়তন জলের ওজন। জলের পরিবর্তে অন্য কোন তরল পদার্থে ডুবাইয়া ওজন করিলে বায়ুতে বস্তুর ওজনের সহিত উহার যে পার্থক্য হইবে তাহা অপসারিত তরল বস্তুর ওজন হইবে। বায়ুরও প্লবতা আছে। সাধারণ হিসাবের জন্য তাহা না ধরিলেও চলে; সূক্ষ্ম হিসাবের জন্য তাহার প্রয়োজন আছে। সুতরাং,

বায়ুতে বস্তুর ওজন − তরলে সম্পূর্ণ নিমজ্জিত অবস্থায় বস্তুর ওজন
= বস্তুর সম-আয়তন তরল পদার্থের ওজন।

আমরা জানি, $\text{আপেক্ষিক গুরুত্ব} = \frac{}{\text{সম-আয়তন জলের ওজন}}$

কাজেই যদি কোন বস্তুর ওজন W হয় এবং ঐ বস্তু সম্পূর্ণভাবে জলে ডুবাইয়া ওজন করিলে উহার ওজন হয় W_1, তবে সম-আয়তন জলের ওজন $W - W_1$

$$\therefore \quad \text{আপেক্ষিক গুরুত্ব} = \frac{W}{W - W_1}.$$

সুতরাং বস্তু দ্বারা অপসারিত জল লইয়া পৃথকভাবে ওজন না করিয়াই আমরা আর্কিমিদিসের নিয়ম প্রয়োগ করিয়া আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিতে পারি।

অঙ্ক (1) একটি লৌহখণ্ডের ওজন 250 গ্র্যাম; উহাকে জলে ডুবাইয়া ওজন করিলে ওজন হয় 218 গ্র্যাম, লৌহের আপেক্ষিক গুরুত্ব এবং আয়তন নির্ণয় কর।

$$\text{আপেক্ষিক গুরুত্ব} = \frac{\text{লৌহখণ্ডের ওজন}}{\text{সম-আয়তন জলের ওজন}}$$

সম-আয়তন জলের ওজন = জলে ওজনের আপাত হ্রাস
= (250 − 218) গ্র্যাম
= 32 গ্র্যাম

$$\therefore \quad \text{আপেক্ষিক গুরুত্ব} = \frac{250}{32} = 7{\cdot}81.$$

লোহার সম-আয়তন জলের ভর 32 গ্র্যাম। জলের 1 ঘন সেন্টিমিটারের ভর 1 গ্র্যাম ধরিলে লোহার আয়তন 32 ঘন সে. মি.।

(2) সোনার আপেক্ষিক গুরুত্ব 19; কাণায় কাণায় পূর্ণ জলপাত্রে 825 গ্র্যাম সোনা ডুবাইলে কত ঘন সে. মি. জল অপসারিত হইবে?

মনে কর x ঘন সে. মি. জল উপচিয়া পড়িবে। x ঘন সে.মি. জলের ওজন x গ্র্যাম। $\therefore$ সোনার ওজন x গ্র্যাম কমিবে। $\therefore$ $19=\frac{825}{x}$

$$\therefore \quad 19x=825$$

$$x=43{\cdot}42 \text{ গ্র্যাম};$$

$\therefore$ অপসারিত জলের আয়তন 43 42 ঘন সে. মি.

3.51. আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়ের বিভিন্ন উপায়ঃ

A. উদস্থৈতিক তুলা দ্বারা—একটি সাধারণ তুলার সহিত একটি কাঠের সেতু—যাহা একটি তুলাপাত্রের এক প্রান্ত হইতে অপর প্রান্ত পর্যন্ত ডিঙাইয়া যায়—ব্যবহার করিলে উহাই উদস্থৈতিক তুলা হইল। ঐ তুলা দ্বারা বিভিন্ন প্রকার বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করা চলে।

(1) জলে অদ্রবণীয় কিন্তু জল অপেক্ষা ভারী কঠিন বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়ঃ

প্রথমে বস্তুটিকে তুলাদণ্ডের ষ্টিরাপ হইতে সুতা দ্বারা ঝুলাইয়া বায়ুতে বস্তুটির ওজন লও। মনে কর ঐ ওজন $=W_1$

এখন কাঠের সেতুটিকে (বাম দিকের) তুলাপাত্রটি ডিঙাইয়া বসাও। উহার উপর পরিমাণ অনুযায়ী জল লইয়া একটি বীকার বসাও। কঠিন বস্তুটি ঐ জলে ডুবাইয়া আবার ওজন ঠিক কর। মনে কর ঐ ওজন $=W_2$

$$\text{আপেক্ষিক গুরুত্ব}=\frac{W_1}{W_1-W_2}$$

(2) তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়ঃ

প্রথমে একখণ্ড এমন কঠিন বস্তু লও যাহা জলে অথবা প্রদত্ত তরলে অদ্রবণীয় এবং উভয় তরল অপেক্ষা ভারী। বায়ুতে বস্তুটিকে ওজন কর; মনে কর ঐ ওজন W_1। এখন জলে ডুবাইয়া ঐ বস্তুকে ওজন কর, মনে কর ঐ ওজন W_2 এবং তরলে ডুবাইয়া ঐ বস্তুকে আবার ওজন কর, মনে কর ঐ ওজন W_3.

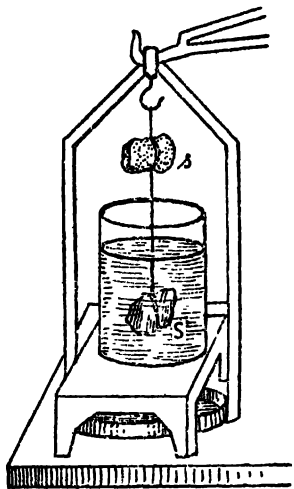
$\therefore$ $W_1-W_3=$ অপসারিত তরল পদার্থের ওজন

$W_1-W_2=$ অপসারিত জলের ওজন

কিন্তু প্রত্যেক ক্ষেত্রে অপসারিত তরলের আয়তন বস্তুটির আয়তনের সমান। সুতরাং যে আয়তন জলের ওজন W_1-W_2 সেই আয়তন তরলের ওজন W_1-W_3

$$\therefore \quad \text{আপেক্ষিক গুরুত্ব}=\frac{W_1-W_3}{W_1-W_2}.$$

(৩) জলে অদ্রবণীয় কিন্তু জল অপেক্ষা হাল্‌কা কঠিন বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়ঃ

কঠিন বস্তুটিকে (ধর একটুকরা মোমকে) প্রথমে সুতা দ্বারা ঝুলাইয়া বায়ুতে ওজন কর। মনে কর ঐ ওজন W_1. এখন একটি ভারী নিমজ্জক (Sinker) ঐ বস্তুর নীচে বাঁধিয়া লইয়া নিমজ্জককে জলে এবং বস্তুটিকে বায়ুতে রাখিয়া ওজন কর। মনে কর ঐ ওজন W_2. আবার বস্তুটি এবং নিমজ্জকটি একত্র বাঁধিয়া লইয়া জলে ডুবাইয়া ওজন কর। মনে কর ঐ ওজন W_3

মোমের টুকরা বায়ুতে রাখিয়া এবং লোহার টুকরা জলে ডুবাইয়া ওজন লইবার ব্যবস্থা

$\therefore$ বায়ুতে বস্তুর ওজন $= W_1$

বায়ুতে বস্তুর ওজন + জলে নিমজ্জকের ওজন $= W_2$

জলে বস্তুর ওজন + জলে নিমজ্জকের ওজন $= W_3$

$\therefore$ $W_2 - W_3 =$ বায়ুতে বস্তুর ওজন − জলে বস্তুর ওজন = অপসারিত জলের ওজন।

$$\therefore \text{ আপেক্ষিক গুরুত্ব} = \frac{W_1}{W_2 - W_3}.$$

(4) জলে দ্রবণীয় কঠিন বস্তুর (যেমন ফটকিরির) আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়ঃ

প্রথমে কঠিন বস্তুটিকে সুতা দ্বারা ঝুলাইয়া বায়ুতে ওজন কর। মনে কর ঐ ওজন W_1. এখন প্রথমে এমন একটি তরল লও যাহাতে ঐ বস্তু ডোবে অথচ গলে না। সেই তরলে ডুবাইয়া উহার ওজন লও। মনে কর ঐ ওজন W_2

$$\therefore \text{ ঐ তরলের তুলনায় বস্তুটি } \frac{W_1}{W_1 - W_2} \text{ গুণ ভারী।}$$

এইবার এমন একটি কঠিন বস্তু লও যাহা ঐ তরলে বা জলে দ্রবণীয় নহে। ঐ বস্তুটির ওজন বায়ুতে যেন W_3 এবং ঐ তরলে ওজন যেন W_4 এবং জলে যেন ইহার ওজন W_5 তাহা হইলে ঐ তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব $= \dfrac{W_3 - W_4}{W_3 - W_5}$

$$\text{বস্তুটির আপেক্ষিক গুরুত্ব} = \frac{W_1}{W_1 - W_2} \times \frac{W_3 - W_4}{W_3 - W_5}.$$

অঙ্ক (1) একখানা কাঁচের ওজন 25 গ্র্যাম। উহাকে এ্যালকোহলে ডুবাইয়া ওজন করিলে ওজন হয় 17 গ্র্যাম এবং জলে ডুবাইয়া ওজন করিলে ওজন হয় 15 গ্র্যাম। এ্যালকোহলের আপেক্ষিক গুরুত্ব কত?

অপসারিত এ্যালকোহলের ওজন (25 − 17) গ্র্যাম = 8 গ্র্যাম

„ জলের „ (25 − 15) গ্র্যাম = 10 গ্র্যাম

উভয় ক্ষেত্রে অপসারিত তরলের আয়তন কাঁচখণ্ডের আয়তনের সমান।

∴ এ্যালকোহলের আপেক্ষিক গুরুত্ব $= \frac{8}{10} = \cdot 8.$

(2) একখণ্ড কর্কের ওজন 10·2 গ্র্যাম। ইহাকে বায়ুতে রাখিয়া ইহার সহিত ঝুলাইয়া একখণ্ড লোহা জলে ওজন করিলে ওজন হয় 78 6 গ্র্যাম। আর কর্ক এবং লোহাকে একত্র বাঁধিয়া জলে ওজন করিলে ওজন হয় 39·5 গ্র্যাম। কর্কের আপেক্ষিক গুরুত্ব কত ?

বায়ুতে কর্কের ওজন + জলে লোহার ওজন = 78·6 গ্র্যাম।

জলে কর্কের ওজন + জলে লোহার ওজন = 39·5 গ্র্যাম।

আগেও লোহা জলে ছিল, এখনও উহা জলে আছে। ∴ ওজন কমিবার কারণ কর্ক দ্বারা অপসারিত জলের উর্ধ্ব চাপ

∴ কর্ক দ্বারা অপসারিত জলের ওজন = 39·1 গ্র্যাম।

কর্কের ওজন 10·2 গ্র্যাম।

∴ কর্কের আপেক্ষিক গুরুত্ব $= \frac{10 \cdot 2}{39 \cdot 1} = \cdot 26.$

(3) একখণ্ড ফটকিরির ওজন 35·8 গ্র্যাম। ইহাকে কেরোসিনে ডুবাইয়া ওজন করিলে ওজন হয় 17·9 গ্র্যাম। একখণ্ড কাঁচের ওজন 50·8 গ্র্যাম। ইহাকে কেরোসিনে ডুবাইয়া ওজন করিলে ওজন হয় 34·5 গ্র্যাম এবং জলে ডুবাইয়া ওজন করিলে ওজন হয় 30·4 গ্র্যাম। ফটকিরির আপেক্ষিক গুরুত্ব কত ?

কেরোসিনের তুলনায় ফট্‌কিরির আপেক্ষিক গুরুত্ব $= \frac{35 \cdot 8}{35 \cdot 8 - 17 \cdot 9} = 2.$

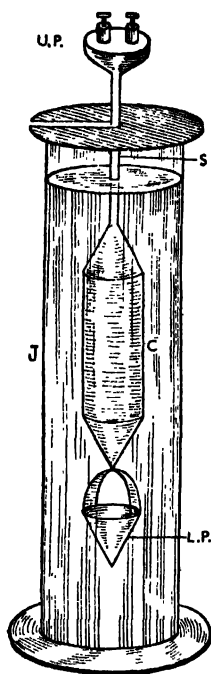
কেরোসিনের আপেক্ষিক গুরুত্ব $= \frac{50 \cdot 8 - 34 \cdot 5}{50 \cdot 8 - 30 \cdot 4} = \cdot 8$

∴ ফট্‌কিরির আপেক্ষিক গুরুত্ব $= 2 \times \cdot 8 = 1 \cdot 6$

***B. হাইড্রোমিটার দ্বারা :**

নিকলসনের হাইড্রোমিটার যন্ত্র (Nicholson's Hydrometer) :

একটি ফাঁপা ধাতুর নলের উপরের দিকে একটি সরু দণ্ড এবং তাহার উপরে একটি ছোট তুলাপাত্র (U. P.) সংযুক্ত এবং নলের নীচে একটি শঙ্কু আকৃতির তুলাপাত্র L.P. সংযুক্ত। শঙ্কু আকৃতির তুলাপাত্রের মধ্যে সীসা প্রভৃতি

ভারী জিনিস রাখিয়া উহাকে এমনভাবে তৈরী করা হয় যে সম্পূর্ণ যন্ত্রটি খাড়াভাবে জলে ভাসিতে পারে ; ঐ সময়ে উপরের দণ্ডের অধিকাংশ জলের উপরে জাগিয়া থাকে।

নিকলসনের হাইড্রোমিটার
L.P.—নীচের তুলাপাত্র
U. P.—উপরের ,,
S.—দণ্ড বা স্টেম

এই যন্ত্রের কাজ নির্ভর করে তরলে ভাসমান বস্তুর শর্তের উপর। উপরের দণ্ডটির একটি নির্দিষ্ট স্থানে সুতা বাঁধিয়া বিভিন্ন তরলে ঐ পর্যন্ত ডুবাইলে (উপরের তুলাপাত্রে আবশ্যকমত ওজন চাপাইয়া) উহা নির্দিষ্ট আয়তনের তরল অপসারিত করিবে। ঐ অবস্থায় তরলের প্লবতা সর্বদা হাইড্রোমিটার এবং ইহার তুলাপাত্রে রক্ষিত কোন ওজনের সমান হইবে।

ইহাকে Constant Volume বা স্থির আয়তনের হাইড্রোমিটার বলে, কারণ বার বার ইহাকে একই দাগ পর্যন্ত তরলে ডুবাইতে হয়।

(1) তরল বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় :

হাইড্রোমিটারকে বড় তুলায় বা স্প্রিং ব্যালেন্সে ওজন করিয়া ইহার ওজন স্থির কর। মনে কর ঐ ওজন W ; যথানিয়মে হাইড্রোমিটারের দণ্ডের উপরে সুতা বাঁধিয়া দাগ দাও।

এখন যে তরল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিতে হইবে তাহা কাঁচের জারে লও। ঐ তরলে হাইড্রোমিটারটি ডুবাইয়া আবশ্যক মত ওজন উপরের তুলাপাত্রে চাপাইয়া উহাকে ঐ দাগ পর্যন্ত তরলে ডুবাও। মনে কর, ইহার জন্য উপরের তুলাপাত্রে W_1 ওজন চাপানো হইল।

এখন হাইড্রোমিটারকে জলে ডুবাইয়া উপরের তুলাপাত্রে আবশ্যকমত ওজন চাপাইয়া ঐ দাগ পর্যন্ত ডুবাও। মনে কর ঐ ওজন W_2 হইল।

উভয় তরলে হাইড্রোমিটার একই দাগ পর্যন্ত ডুবিয়াছে। সুতরাং উহা সম-আয়তন জল ও তরল অপসারিত করিয়াছে।

ভাসনের শর্ত অনুসারে $W+W_1=$ অপসারিত তরলের ওজন

$W+W_2=$,, জলের ওজন

$$\text{আপেক্ষিক গুরুত্ব}=\frac{W+W_1}{W+W_2}.$$

(২) জলে অদ্রবণীয় (জলের তুলনায় হাল্‌কা অথবা ভারী) কঠিন বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় :

হাইড্রোমিটারটিকে জলপূর্ণ কাঁচপাত্রে রাখিয়া উহার দণ্ডের উপরের দিকে সুতা বাঁধিয়া একটি চিহ্ন রাখ। এখন হাইড্রোমিটারের উপরের তুলাপাত্রে ওজন চাপাইয়া উহাকে সুতার দাগ পর্যন্ত ডুবাইয়া দাও। মনে কর ঐ ওজন W_1.

এখন আগে কঠিন বস্তুখণ্ডটি উপরের তুলাপাত্রে রাখিয়া আবার আবশ্যকমত ওজন চাপাইয়া ঐ দাগ পর্যন্ত জলে ডুবাইয়া দাও। মনে কর ঐ ওজন W_2.

এইবার কঠিন বস্তুখণ্ডটিকে নীচের তুলাপাত্রে রাখিয়া (উহা মোমের মত জল অপেক্ষা হাল্‌কা কোন পদার্থ হইলে উহাকে সুতার সাহায্যে নীচের তুলা-পাত্রের এক পাশে বাঁধিয়া দাও) হাইড্রোমিটারকে জলে ডুবাইয়া দাও। এখন উপরের তুলাপাত্রে এমন ওজন চাপাও যাহাতে উহা আবার আগের দাগ পর্যন্ত জলে ডোবে। মনে কর ঐ ওজন W_3.

বস্তুর ওজন $= W_1 - W_2$

$W_3 - W_2 =$ বস্তুটিকে জলে ডুবাইলে উহা যত ঊর্ধ্বচাপ পায় তাহার সমান।

কারণ, উভয় ক্ষেত্রেই বস্তুটি হাইড্রোমিটারের সঙ্গে যুক্ত ছিল, দ্বিতীয় বারে উহা জলে নিমজ্জিত অবস্থায় হাইড্রোমিটারের সহিত যুক্ত ছিল, প্রথম বারে বায়ুতে থাকা অবস্থায়ও হাইড্রোমিটারের সহিত যুক্ত ছিল। সুতরাং দ্বিতীয় বারে যত বেশী ওজন লাগিয়াছে তাহা বস্তুতে প্রযুক্ত জলের ঊর্ধ্বচাপের সমান, অর্থাৎ বস্তু দ্বারা অপসারিত জলের ওজন।

$$\therefore \text{ আপেক্ষিক গুরুত্ব} = \frac{W_1 - W_2}{W_3 - W_2}.$$

সাধারণ হাইড্রোমিটার বা স্থির ওজনের (Constant weight) হাইড্রোমিটার :

এই হাইড্রোমিটারের গঠন মূলত একই প্রকার, কিন্তু ইহার উপরের স্টেম (stem) বা দণ্ড এবং ফাঁপা নল কাঁচ দ্বারা নির্মিত থাকে এবং ইহাতে কোন তুলাপাত্র থাকে না, নীচে শঙ্কু আকৃতির কাঁচপাত্রে সাধারণত সীসার গুলি ভর্তি করিয়া উহাকে ভারী করা হয়; ফলে উহা খাড়াভাবে জলে বা অন্য তরলে ভাসে।

W
S
M

সাধারণ হাইড্রোমিটার জলে ডুবাইলে W পর্যন্ত ডুবিবে, দুধে ডুবাইলে M পর্যন্ত ডুবিবে।

সাধারণত আপেক্ষিক গুরুত্ব অন্য উপায়ে জানা আছে এমন বিভিন্ন তরল পদার্থে

এই যন্ত্র ডুবাইয়া উপরের স্টেমে দাগ কাটিয়া রাখা হয়; পরে অজ্ঞাত আপেক্ষিক গুরুত্ববিশিষ্ট তরলে ডুবাইয়া ঐ দাগ দেখিয়া তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করা যায়।

অঙ্ক (1) নিকলসনের হাইড্রোমিটার জলে ডুবাইয়া ইহার উপরের পাত্রে 10·82 গ্র্যাম ওজন চাপাইলে হাইড্রোমিটারটি নির্দিষ্ট চিহ্ন পর্যন্ত জলে ডুবে। প্রথমে একখণ্ড পাথর উপরের পাত্রে রাখিয়া 7·30 গ্র্যাম ওজন চাপাইলে উহা আবার ঐ চিহ্ন পর্যন্ত জলে ডুবে।

পাথরটি নীচের পাত্রে রাখিয়া হাইড্রোমিটার জলে ডুবাইলে ঐ নির্দিষ্ট চিহ্ন পর্যন্ত ডুবাইতে উপরের পাত্রে 8·64 গ্র্যাম ওজন চাপাইতে হয়। পাথরের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় কর।

এক্ষেত্রে পাথরের ওজন $=(10\cdot82-7\cdot30)$ গ্র্যাম
$=3\cdot52$ গ্র্যাম;

পাথর জলে ডুবাইলে ঊর্ধ্বচাপ যত হয় তাহার মান $=(8\cdot64-7\cdot30)$ গ্র্যাম
$=1\cdot34$ গ্র্যাম

$\therefore$ নির্ণেয় আপেক্ষিক গুরুত্ব $=\dfrac{3\cdot52}{1\cdot34}=2\cdot62.$

(2) একটি হাইড্রোমিটারের ওজন 166 গ্র্যাম। ইহাকে স্টেমের নির্দিষ্ট দাগ পর্যন্ত জলে ডুবাইতে উপরের পাত্রে 10·82 গ্র্যাম ওজন চাপানো আবশ্যক এবং লবণের জলে ঐ পর্যন্ত ডুবাইতে 38 গ্র্যাম ওজন চাপাইতে হয়। তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় কর।

উভয় তরলে হাইড্রোমিটার সম-আয়তন তরল অপসরণ করিয়া ভাসে। ভাসনের শর্ত অনুসারে অপসারিত লবণের জলের ওজন $=38+166=204$ গ্র্যাম

" " " জলের ওজন $=10\cdot82+166=176\cdot82$ গ্র্যাম

$\therefore$ আপেক্ষিক গুরুত্ব $=\dfrac{204}{176\cdot82}=1\cdot45.$

C. আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতল দ্বারা:

(1) তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়:

56 এবং 57 পৃষ্ঠা দ্রষ্টব্য।

***(2) কঠিন বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়:**

এই বোতলের সাহায্যে আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিতে হইলে কঠিন বস্তুকে গুঁড়াইয়া লইতে হইবে।

শুষ্ক বোতলে ছিপি আঁটিয়া খালি বোতলটি ওজন কর; মনে কর ঐ ওজন W_1.

প্রদত্ত গুঁড়া পরিমাণ অনুযায়ী (খুব কম যেন না হয়) বোতলে লইয়া আবার ছিপি আঁটিয়া ওজন কর। মনে কর ঐ ওজন W_2।

এখন বোতলে গুঁড়া রাখিয়াই বোতলের বাকি অংশ পাতিত জল দ্বারা পূর্ণ কর। ছিপি আটকাইয়া রুমাল দ্বারা বাহিরের দিক মুছিয়া লইয়া উহাকে আবার ওজন কর। ঐ ওজন যেন W_3 হইল। এখন গুঁড়া ও জল ফেলিয়া দিয়া বোতলটিকে জল দ্বারা ভালরূপে ধুইয়া পরিষ্কার করিয়া উহাকে জলপূর্ণ করিয়া ছিপি আঁটিয়া রুমাল দ্বারা মুছিয়া লইয়া আবার ওজন কর। মনে কর ঐ ওজন W_4

এখন বোতলের ওজন + গুঁড়ার ওজন $= W_2$.

বোতলের ওজন $= W_1$

$\therefore$ গুঁড়ার ওজন $= W_2 - W_1$.

আবার বোতলের ওজন + গুঁড়ার ওজন + বাকী অংশে যত জল ধরে সেই ওজন $= W_3$.

বোতলের ওজন + বোতল ভর্তি করিতে যত জল লাগে সেই ওজন $= W_4$.

$\therefore$ $W_3 - W_4$ = গুঁড়ার ওজন − গুঁড়ার সম-আয়তন জলের ওজন।

$\therefore$ $(W_2 - W_1) - (W_3 - W_4)$ = গুঁড়ার সম-আয়তন জলের ওজন।

$\therefore$ আপেক্ষিক গুরুত্ব $= \dfrac{W_2 - W_1}{(W_2 - W_1) - (W_3 - W_4)}$.

[দ্রষ্টব্য—কঠিন বস্তু জলে দ্রবণীয় হইলে প্রথমে অন্য তরলের তুলনায় আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিয়া আবার তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিতে হইবে।]

অঙ্ক (1) একটি আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতলের ওজন 15·29 গ্র্যাম ; ইহার মধ্যে কিছু বালি লইয়া ওজন করিলে ওজন হইল 21·52 গ্র্যাম। ইহার পর বোতলের বাকি স্থান জল দ্বারা পূর্ণ করিয়া উহাকে ওজন করিলে ওজন হইল 43·83 গ্র্যাম। বালি ও জল ফেলিয়া দিয়া বোতল জল দিয়া ধুইয়া পরিষ্কার করিবার পর জল দ্বারা পূর্ণ করিয়া ওজন করিলে ওজন হইল 40·04 গ্র্যাম। বালির আপেক্ষিক গুরুত্ব কত ?

গুঁড়ার পরিবর্তে এস্থলে বালি ব্যবহৃত হইয়াছে। সুতরাং উপরের সূত্র অনুযায়ী

নির্ণেয় আপেক্ষিক গুরুত্ব $= \dfrac{W_2 - W_1}{(W_2 - W_1) - (W_3 - W_4)}$

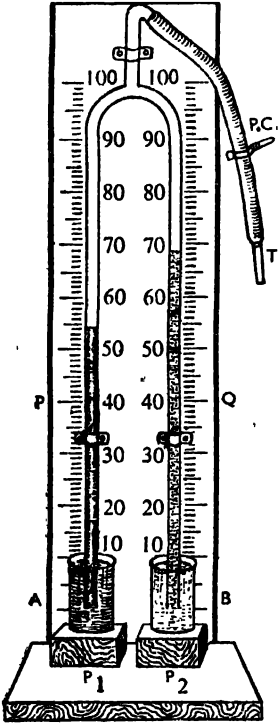
$$= \frac{21{\cdot}52 - 15{\cdot}29}{(21{\cdot}52 - 15{\cdot}29) - (43{\cdot}83 - 40{\cdot}04)}$$

$$= \frac{6{\cdot}23}{6{\cdot}23 - 3{\cdot}79}$$

$$= \frac{6{\cdot}23}{2{\cdot}44} = 2{\cdot}55.$$

D. U-আকৃতির নল দ্বারা :

85 পৃষ্ঠায় বর্ণিত উপায়ে তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করা চলিবে। কিন্তু যে তরল জলের সহিত মিশ্রিত হইয়া যায়, উহার আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিতে উল্টানো U-নল বা Hare's Apparatus ব্যবহার করিতে হয়।

এই যন্ত্রে একটি উল্টানো U-নলের খোলা দুই মুখ দুই প্রকার তরলের মধ্যে ডুবানো থাকে। U-নলের উপরে একটি পার্শ্বনল আছে ; উহার সহিত একটি পিঞ্চকক সহ রবারের নল যুক্ত আছে, রবারের নলের শেষ প্রান্তে একটি ছোট কাঁচনলে মুখ লাগাইয়া কিছু বায়ু টানিয়া বাহির করিয়া পিঞ্চকক আঁটিয়া দিলে দুই দিকের নলে দুইটি তরল সাধারণত দুই বিভিন্ন উচ্চতায় দাঁড়াইবে।

হেয়ারের যন্ত্র

কারণ, A এবং B পাত্রের তরলের সমতলে বায়ুমণ্ডলের চাপ পড়িতেছে, আর নলের মধ্যস্থ বায়ুর চাপ দুই নলেই সমান।

মনে কর P নলে যে তরল আছে তাহার ঘনত্ব ρ_1 এবং ঐ নলের তরল স্তম্ভ A পাত্রের তরল হইতে h_1 উচ্চতায় আছে। Q নলের তরলের ঘনত্ব মনে কর ρ_2 এবং ঐ নলের তরল স্তম্ভ B পাত্রের তরল হইতে h_2 উচ্চতায় আছে।

A পাত্রে জলের উপরে চাপ = P নলের মধ্যস্থ বায়ুর চাপ + $h_1\rho_1 g$

B পাত্রে জলের উপরে চাপ = Q নলের মধ্যস্থ বায়ুর চাপ + $h_2\rho_2 g$.

A এবং B পাত্রে বায়ুমণ্ডলের একই চাপ পড়িতেছে এবং P আর Q নলের মধ্যের বায়ুচাপও সমান।

$$\therefore \quad h_1\rho_1 g = h_2\rho_2 g$$

$$\therefore \quad h_1\rho_1 = h_2\rho_2$$

$$\text{অথবা} \quad \frac{h_2}{h_1} = \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{s_1}{s_2}$$

s_1 এবং s_2 দুই নলের তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব

সুতরাং হেয়ারের এই যন্ত্র দ্বারা সহজে দুই বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব তুলনা করা চলে।

অঙ্ক (1) হেয়ারের যন্ত্রে একটি পরীক্ষায় জলের স্তম্ভের উপরের পাঠ হইল 38·6 সে. মি. এবং নীচের পাত্রের জলের লেভেলের পাঠ ·5 সে. মি.। দ্বিতীয় নলে অন্য তরলের স্তম্ভের উপরের পাঠ 36·5 এবং ঐ নলের নীচের পাত্রের তরলের লেভেলের পাঠ 2·4 সে. মি.। তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব কত?

আমরা জানি $h_1\rho_1 = h_2\rho_2$ অথবা $h_1s_1 = h_2s_2$

অর্থাৎ, জলের স্তম্ভের উচ্চতা × জলের আপেক্ষিক গুরুত্ব

= তরল স্তম্ভের উচ্চতা × ঐ তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব

এস্থলে জলস্তম্ভের উচ্চতা = (38·6 − ·5) সে. মি. = 38·1 সে. মি.

তরল স্তম্ভের উচ্চতা = (36·5 − 2·4) সে. মি = 34·1 সে. মি.

∴ নির্ণেয় ঘনত্ব = $\dfrac{\text{জলস্তম্ভের উচ্চতা}}{\text{তরল স্তম্ভের উচ্চতা}}$

$$= \frac{38{\cdot}1}{34{\cdot}1} = 1{\cdot}12$$

প্রশ্ন

1. আর্কিমিদিসের নিয়ম প্রয়োগ করিয়া কিভাবে আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করা যায় ব্যাখ্যা কর এবং উদাহরণ দাও।

(Explain how specific gravity can be determined by applying Archimedes, principle and give a suitable example.)

2. ভাসনের শর্ত ব্যবহার করিয়া তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব কিভাবে নির্ণয় করা যায় ব্যাখ্যা কর এবং উদাহরণ দাও।

(Explain and illustrate how the specific gravity of a substance may be determined by utilising the condition of floatation.)

3. একখণ্ড মোমের আপেক্ষিক গুরুত্ব হাইড্রোস্ট্যাটিক ব্যালেন্স দ্বারা এবং হাইড্রোমিটার দ্বারা কিভাবে নির্ণয় করা যায়?

(How can the specific gravity of a piece of wax be determined (1) by a hydrostatic balance, (2) by a hydrometer?)

4. একটি নিকলসনের হাইড্রোমিটারকে নির্দিষ্ট দাগ পর্যন্ত ডুবাইতে উপরের পাত্রে 10·1 গ্রাম ওজন চাপাইতে হয়। একখণ্ড কাঁচ উহার উপর রাখিয়া আরও 8·2 গ্রাম দিলে উহা আবার আগের নির্দিষ্ট দাগ পর্যন্ত ডুবে। কাঁচখণ্ডকে নীচের পাত্রে রাখিয়া হাইড্রোমিটারকে ঐ দাগ পর্যন্ত ডুবাইতে 8·9 গ্রাম ওজন উপরের পাত্রে দিতে হয়। ঐ কাঁচের আপেক্ষিক গুরুত্ব কত?

(A weight of 10·1 gm. is necessary to be placed on the upper pan to sink a hydrometer up to the mark. A piece of glass and 8·2 gm. placed on the upper pan also sinks it upto the mark. When the piece of glass is placed in the lower pan a weight of 8·6 gm. is necessary on the upper pan. What is the specific gravity of the piece of glass ?) [*Ans.* 2·7]

5. একটি হাইড্রোমিটারের ওজন 170 গ্র্যাম। কোন তরলে উহাকে নির্দিষ্ট দাগ পর্যন্ত ডুবাইতে উপরের পাত্রে 25·5 গ্র্যাম ওজন চাপাইতে হয় এবং জলে ঐ পর্যন্ত ডুবাইতে 10·2 গ্র্যাম ওজন চাপাইতে হয়। তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় কর। F. P. S প্রণালীতে ঐ তরলের ঘনত্ব কত ?

(A hydrometer weighs 170 gm. It requires a weight of 25·5 gm. on the upper pan to sink it up to a fixed mark in a certain liquid and it requires 10·2 gm to sink it upto that mark in water. Find the specific gravity of water. What is its density in F. P. S. system ?) [*Ans.* 1·084 ; 67·75 পাউণ্ড প্রতি ঘন ফুট]

6. 0·6 আপেক্ষিক গুরুত্ববিশিষ্ট তরলের মধ্যে একটি নিকলসনের হাইড্রোমিটার যে দাগ পর্যন্ত ডুবে, জলে সেই দাগ পর্যন্ত উহাকে ডুবাইতে হইলে উহার উপরের পাত্রে 120 গ্র্যাম ওজন চাপাইতে হয়। হাইড্রোমিটারের ওজন কত ?

(A hydrometer sinks upto a certain mark in a liquid of specific gravity ·6 and it requires 120 gm. on the upper pan to sink it to the same mark when in water. What is the weight of the hydrometer ?) [*Ans.* 180 গ্র্যাম]

7. A বস্তুটির ওজন বায়ুতে 7·55 গ্র্যাম, জলে 5·17 গ্র্যাম এবং একটি তরল B-তে 6·35 গ্র্যাম। A বস্তুটির ঘনত্ব এবং B বস্তুটির আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় কর।

(A weighs 7·55 gm. in air, 5·17 gm. in water and 6·35 gm. in a liquid B. Find the density of A and the specific gravity of B.) [*Ans.* 3·17 গ্র্যাম/ঘন. সে. মি ; 504]

8. একটি আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতলের ওজন 14·72 গ্র্যাম, উহা জলপূর্ণ অবস্থায় ওজন করিলে ওজন হয় 39·74 গ্র্যাম ; এবং লবণের জল দ্বারা পূর্ণ করিলে ওজন হয় 44·15 গ্রাম। লবণের জলের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় কর।

(A specific gravity bottle weights 14·72 gm. When filled with water it weighs 39·74 gm., when filled with salt water it weighs 44·15 gm. Determine the specific gravity of salt water.) [*Ans.* 1·176]

9. একটি হেয়ারের যন্ত্রে একদিকে সালফিউরিক এ্যাসিড এবং অন্য দিকে জল উঠিয়াছে ; জলস্তম্ভের দৈর্ঘ্য 57·6 সে. মি. এবং সালফিউরিক এ্যাসিডের আপেক্ষিক গুরুত্ব 1·8 হইলে সালফিউরিক এ্যাসিডের স্তম্ভের দৈর্ঘ্য কত ?

(Two limbs of a Hare's Apparatus have sulphuric acid and water drawn up in them. If the height of the water column be 57·6 cm. and the specific gravity of acid is 1·8, find the height of the column of acid.) [*Ans.* 32 cm.]

Additional Numerical Problems

1. A body weighs 35 grams in air and 25 grams in water. What is its volume and spacific gravity ? [*Ans.* 10 c.c. ; 3·5]

2. A body weighs 100 grams in air. If its density is 7·85 what will it weigh in water ? [*Ans.* 87·26 gms.]

3. The volume of a body is 200 c.c. When it is immersed in water it weighs 320 grams. What is its density ? [*Ans.* 2·6 gms./c.c.]

4. A body whose weight is 85 grams, weighs 77 grams in a liquid of specific gravity ·8. What will it weigh in water ? [*Ans.* 75 grams.]

5. An alloy of silver and gold weighs 200 grams. The specific gravity of silver is 10·5 and of gold 19. When immersed in water it weighs 185 grams. Find the weight of gold and silver in the alloy.

[*Ans.* Gold 95 grams ; Silver 105 grams]

6. An alloy of silver and copper weighs 403 grams. The sp. gr. of silver is 10·5 and of copper 9. When immersed in water it weighs 364·5 grams. Find the weight of silver and copper in the alloy.

[*Ans.* Silver 115·5 grams ; Copper 292·5 grams]

7. An alloy of copper and gold when placed in a measuring glass is found to have a volume of 86 c.c. If the amount of gold in the alloy is known to be 160 grams and the density of gold is 19 gm. per c c. find the amount of copper in it, if its sp. gr. is 9. [*Ans.* 240·743 gms.]

8. A piece of glass weighs 28·75 grams in air, 16·25 grams in water and 19·55 grams in another liquid. Find the specific gravity of glass and the liquid.

[*Ans.* 2·3 ; ·7404]

9. A lump of paraffin weighs 20 grams in air. When a sinker is hung from the same arm of the balance, the sinker in water and the piece of paraffin in air together weigh 88·5 gms. When the sinker and the piece of paraffin are tied together and sunk in water, the combination weighs 63·5 gms. Find the sp. gr. of paraffin. [*Ans.* ·8]

10. A piece of alum weighs 23·8 grams in air and 11·9 grams in kerosine. A piece of glass weighs 36·7 grams in air, 22·02 grams in water and 24·66 grams in kerosine. Find the sp. gr. of alum. [*Ans.* 1·64]

11. 323·3 grams of mercury completely fills a specific gravity bottle. It requires 43·04 grams of a solution to be filled up completely. What is the density of the solution if that of mercury be 13·6 gm./c.c. [*Ans.* 1·81 gm./c.c.]

12. A specific gravity bottle weighs 20·48 grams and when filled with a liquid weighs 42·08 gm. When filled with water it weighs 47·48 grams. Find the density of the liquid and the capacity of the sp. gr. bottle in c.c.

[*Ans.* ·8 gm./c.c. ; 27 c.c.]

13. A specific gravity bottle filled with water weighs 42·35 grams and when filled with sulphuric acid, weighs 62·38 grams and when filled with mercury it weighs 357·35 grams. The density of mercury is 13·6 gm./c.c. Find the density of sulphuric acid and the weight of the sp. gr. bottle.

[*Ans.* 1·801 gm./c.c. ; 17·35 gm.]

14. In a Hare's Apparatus the length of the water column in one limb is 35·3 cm. and that of a liquid in the other is 30·8 cm. What is the specific gravity of the liquid ? [*Ans.* 1·146]

15. In a Hare's Apparatus the length of water column in one limb is 47·3 cm. What will be the length of a liquid column in the other limb, if its density is 1·5 ?

[*Ans.* 31·53 cm.]

16. A body floats in water with $\frac{3}{4}$ of its volume above water. What is its density ? [*Ans.* ·25 gm./c.c.]

17. A body floats on water with $\frac{3}{4}$ of its volume above water. If its weight be 200 grams what are its specific gravity and volume ? [*Ans.* ·25 ; 800 c.c.]

18. A piece of paraffin weighing 20 grams floats with $\frac{1}{3}$ of its volume above water. What fraction of its volume will be above (*i*) Glycerine and (*ii*) Kerosine while it floats in these liquids ?

(Sp. gr. of glycerine = 1·22 and of kerosine ·8 ;) [*Ans.* (*i*) $\frac{43}{133}$; (*ii*) nil]

19. A ship's displacement is 35,000 tons (within safe limits). What is the meaning of this statement ?

20. A prism of rectangular cross-section of 1 sq. cm. is of length 25 cm. and made of wood. This is fixed to a similar prism of iron of length 2 cm. If the combination floats with 1 cm. above water what is the density of wood given the density of iron is 7·8 gm./c.c. [*Ans.* ·416 gm /c.c.]

21. A prism of triangular cross-section is made of aluminium and to this is attached a similar prism of cork. The sides of the triangle are 5 cm., 5 cm. and 8 cm. and the prism of aluminium is of length 3 cm. and that of cork 10 cm. What length of it will project outside water when free to float ? (Given Sp. gr. of aluminium = 2·7 and of cork ·25.) [*Ans.* 2·4 cm.]

22. (*i*) In the previous question if the length of the cork-prism were 7·6 cm. in stead of 10 cm., what would have been the result ?

[*Ans.* ·6 cm. would project]

(*ii*) What would have been the case if the length of the cork-prism were only 7 cm. ? [*Ans.* It would sink.]

(*iii*) If the crok-prism had a length of 12 cm., what length of it would be above water ? *Ans.* 3·9 cm.]

23. A cylinder of iron of length 12 cm. and closed at one end by a flat surface contains 400 grams of mercury. If the diameter of the cylinder be 10 cm. and the weight of the iron be 150 grams, what length of the cylinder will be projecting out of water when it floats vertically ? [*Ans.* 5 cm. approx.]

24. If in the previous case water is poured in the cylinder till it just floats with its rim at the level of water, what will be the difference in level of water inside and outside the cylinder ? Neglect the thickness of the sheet of iron of which the cylinder is made. [*Ans.* 6·63 cm.]

Public Examination Questions

1. State and explain Archimedes' principle on the apparent loss of weight of submerged bodies.

Account clearly for the following facts :

(*a*) It is easier to swim in sea water than in river water ;

(*b*) It is easier to float on water after taking a deep breath ;

(c) Ice floats on water with some of its volume over the surface of water. Yet when the ice is all melted, the level of the water proves to be unaltered.

[C. U. I. Sc. 1943]

2. Describe and indicate the use of *any two* of the following :

(a) A Cartesian Diver ;

(b) A Hare's Apparatus ;

(c) A Hydrometer. [C. U. I. Sc. 1943]

3. What is the principle of Archimedes ?

A piece of iron weighing 275 gms. floats in mercury (sp. gr. 13·59) with $\frac{4}{5}$ of its volume immersed. Find the volume and the sp. gr. of iron.

[*Ans.* 36·92 c.c. ; 7·55]

How is it possible for a submarine to disappear below the surface of water and and come up again ? [C. U. I. Sc. 1945]

4. State the principle of Archimedes and explain how it is verified.

A piece of wax of volume 22 c.c. floats in water with 2 c.c. above the surface. Find the weight and specifice gravity of wax. [*Ans.* 20 gms ; ·91]

[C. U. I.Sc. 1947]

5. A block of ice weighing 100 kg. is thrown into sea. Determine the volume of ice submerged. The density of the ice is ·917 gm./c.c. and the density of sea water is 1·03 gm./c.c. [*Ans.* 970·86 litres] [C. U. I. Sc. 1951]

6. State and explain the principle of Archimedes, apply it to determine the volume of a body which sinks in water. [H. S. 1960]

7. State the principle of Archimedes. How may this principle be verified ?

A piece of wax 22 c.c. in volume, floats in water with 2 c.c. above the surface of water. Find the weight of the piece and the specific gravity of wax.

[*Ans.* 20 gm. ; ·909] [H. S. 1962]

8. Distinguish between density and specific gravity.

Prove that they are expressed by the same number in the C. G. S system.

Calculate the height in metres of vertical column of glycerine (sp. gr. 1·26) which will balance the atmospheric pressure at a place where the barometric height is 756 mm. (Density of mercury = 13·6 gm./c.c.)

[H. S. Comp. 1960] [*Ans.* 5·6 metres]

9. A bent tube containing paraffin oil in one limb and water in the other is placed vertically on the table. If the top and bottons of paraffin oil column from the table are respectively 18·4 and 6·4 inches and the top of the water column is 16·6 inches from the table, calculate the sp. gr. of paraffin oil.

[H. S. Comp. 1961] [*Ans.* ·85]

চতুর্থ অধ্যায়

বায়ুর চাপ

প্রথম পাঠ

4.1. বায়ু স্থান জুড়িয়া অবস্থান করে এবং ইহার ওজন আছে ঃ

বায়ু একটি অদৃশ্য পদার্থ কিন্তু আর সকল পদার্থের ন্যায় ইহারও অবস্থানের জন্য স্থানের প্রয়োজন হয় ; এবং পৃথিবীর উপরে আছে বলিয়া ইহার ওজন আছে।

বায়ু স্থান জুড়িয়া অবস্থান করে ঃ

পরীক্ষা ঃ একটি কর্কের ভিতর একটি ছিদ্র করিয়া ইহার মধ্যে একটি ফানেলের নল ঢুকাইয়া রাখ।

কর্কটি একটু উপরে তুলিয়া রাখিয়া ফানেলের নল পরখ-নলের মধ্যে প্রবেশ করাইয়া দাও। ফানেলে জল ঢালিলে ঐ জল পরখ-নলে প্রবেশ করিবে।

এখন অন্য একটি খালি পরখ-নলের মুখে কর্কটি চাপিয়া বসাইয়া ফানেলের মধ্যে জল ঢাল। দেখা যাইবে, ফানেলের জল পরখ-নলে পড়িতেছে না।

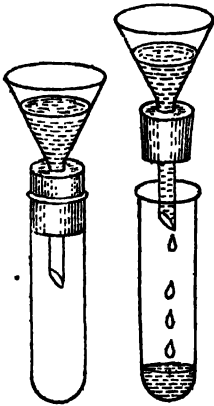
প্রথমবারে ফানেলের জল নীচে নামিবার সঙ্গে সঙ্গে পরখ-নলের বায়ু উপর দিকে বাহির হইয়া গিয়াছে, এবং জল সেই স্থান দখল করিয়াছে ; কিন্তু দ্বিতীয় ক্ষেত্রে পরখ-নলের বায়ু বাহির হইতে পারে নাই। সেইজন্য জল নীচে যাইতে পারিল না ; অর্থাৎ বায়ু পরখ-নলের ভিতরের স্থান দখল করিয়া থাকায় সেই স্থানে জল প্রবেশ করিতে পারিল না।

বায়ু স্থান জুড়িয়া অবস্থান করে

ইহা এবং অনুরূপ অন্য পরীক্ষা হইতে বুঝা যায় যে বায়ু স্থান জুড়িয়া অবস্থান করে।

বায়ুর ওজন আছে ঃ

পরীক্ষা ঃ তলার দিক গোল এমন একটি বড় ফ্লাস্ক (Round bottomed flask) লও। রবারের ছিপি দ্বারা ইহার মুখ বন্ধ করিয়া ইহাকে ওজন কর।

এখন ছিপি খুলিয়া রাখিয়া ফ্লাস্কের গলাটা ধরিয়া উহার সকল স্থান ঘুরাইয়া ঘুরাইয়া বুনসেন-বাতি বা স্পিরিট ল্যাম্পের উপর ধরিয়া গরম কর। গরম করিবার

সময় কোন একস্থানে বেশী সময় তাপ দিও না—একটু পর পর উহাকে নাড়াইয়া এবং ঘুরাইয়া ফ্লাস্কের সকল স্থান সমান ভাবে গরম কর।

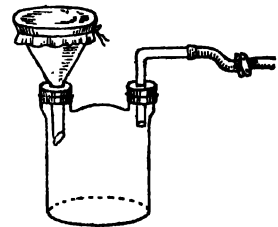
দশ-বারো মিনিট এইভাবে গরম করিয়া গরম অবস্থায় ইহার মুখ আগের রবারের কর্ক দ্বারা বন্ধ কর। ইহাকে ঠাণ্ডা হইতে দাও। গরম অবস্থায় ফ্লাস্কের বায়ু আয়তনে বাড়িবার ফলে উহার অনেক অংশ ফ্লাস্ক হইতে বাহির হইয়া গিয়াছে।

ফ্লাস্ক ঠাণ্ডা হইয়া গেলে ইহাকে আবার ওজন কর; দেখিবে ওজন আগের তুলনায় এইবার কম হইবে।

এখন কর্ক খুলিয়া দাও। কর্ক খুলিবার সময় একটা শব্দ শুনিতে পাইবে—হুস করিয়া বাহিরের বায়ু ফ্লাস্কে প্রবেশ করিল। একটু পরে আবার কর্ক দ্বারা ফ্লাস্কের মুখ বন্ধ কর, দেখিবে ওজন আবার প্রথম বারের ওজনের সমান হইবে। ইহা হইতে বোঝা যায় যে বায়ুর ওজন আছে।

4.11. বায়ুমণ্ডল ও বায়ুমণ্ডলের চাপ (Atmosphere and atmospheric pressure) ঃ

মাছ যেমন জলের মধ্যে ডুবিয়া থাকে আমরা ঠিক তেমনি পৃথিবীপৃষ্ঠের উপরিস্থিত বায়ুসমুদ্রে ডুবিয়া আছি। পৃথিবীপৃষ্ঠের উপরিস্থিত বায়ুকেই বায়ুমণ্ডল বলা হয়। কিন্তু এই বায়ুমণ্ডল অসীম নহে—ইহার গভীরতার সীমা আছে। উপরের দিকের সেই কল্পিত সীমা হইতে দার্জিলিং পাহাড় যত নীচে, অর্থাৎ যত গভীর বায়ুস্তরের নীচে আছে, সমুদ্র-তীরবর্তী কলিকাতা বা পুরী তাহা অপেক্ষা আরও গভীর বায়ুস্তরের নীচে আছে।

বায়ুর ওজন আছে। সুতরাং ঐ সকল বায়ুস্তরের ওজনের জন্য প্রত্যেক স্থানে বায়ু চাপ দিতেছে। ইটের উপর ইট সাজাইয়া উঁচু স্তম্ভ প্রস্তুত করিলে ঐ স্তম্ভ শুধু নীচের দিকেই চাপ দিতে পারে, পাশের দিকে চাপ দিতে পারে না; কঠিন বস্তুর চাপ দিবার ব্যাপারে ইহাই ধর্ম। কিন্তু বায়বীয় বস্তু অথবা তরল বস্তুর বিশেষ গুণ এই যে, ইহারা যে কোন নির্দিষ্ট গভীরতায় সব দিকে সমান চাপ দেয়।

বায়ু সব দিকে সমান চাপ দেয়

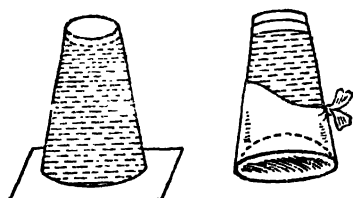
পরীক্ষা—একটি উল্‌ফ বোতলের এক মুখের কর্কের ভিতরের ছিদ্র দিয়া একটা ফানেল এবং অন্য মুখে ঐ ভাবে একটি নির্গম নল লাগাও। নির্গম নলের সঙ্গে একটি রবারের নল সংযুক্ত কর। ফানেলের মুখ একখানা পাতলা রবারের পর্দা দ্বারা টান করিয়া ঢাকিয়া দিয়া সুতা বাঁধিয়া রাখ। রবারের পর্দা ও কাঁচের মিলনস্থলে সুতার নীচে মোম গলাইয়া ফেলিয়া

উহাকে সম্পূর্ণরূপে বায়ু-নিরুদ্ধ কর। বোতলের মুখের কর্কের উপরও মোম গলাইয়া ফেলিয়া বোতলটিকে সম্পূর্ণরূপে বায়ু-নিরুদ্ধ কর। নির্গম নলের সহিত সংযুক্ত রবারের নলের উপর একটি পিঞ্চকক (Pinch-cock) বসাইয়া রাখ।

এখন রবারের নলের খোলা মুখে মুখ লাগাইয়া উল্ফ বোতল হইতে বায়ু টানিয়া বাহির কর। উপযুক্ত সময়ে রবারের নল চাপিয়া রাখিয়া কয়েকবার ঐরূপে বায়ু টানিয়া আনিলে দেখিবে রবারের পর্দাখানা বাটির আকারে নীচু হইয়া ফানেলের মধ্যে কিছুটা ঢুকিয়া গিয়াছে। এখন পিঞ্চককটি ভালরূপে আঁটিয়া দাও।

বোতলের ভিতরের বায়ু কমিয়া যাওয়ায় বাহিরের বায়ুচাপে ঐ রবারের পর্দা ফানেলের ভিতরের দিকে ঢুকিয়া গিয়াছে। এখন বোতলটি ঘুরাইয়া ফানেলটির মুখ উপরের দিকে, নীচের দিকে বা পাশের দিকে, যে দিকেই রাখা হউক না কেন, রবারের পর্দা একই রকম থাকিবে—ইহাতে প্রমাণিত হয় যে বায়ু চাপ দেয়, এবং কোন নির্দিষ্ট স্থানে ঐ চাপ সব দিকে সমান।

বায়ুর ঊর্ধ্বচাপ—বায়ুর ঊর্ধ্বচাপ দেখাইবার জন্য সহজ পরীক্ষা করা চলে।

পরীক্ষা—জলপূর্ণ গ্লাসের উপর কাগজ চাপা দিয়া বাম হাতের উপর গ্লাস উল্টাইয়া গ্লাসকে ডান হাতে ধরিয়া রাখ, এখন বাম হাত সরাইয়া লইলে গ্লাসের জল পড়িবে না—বায়ুর ঊর্ধ্বচাপই ঐ জলকে নীচে পড়িতে দিবে না।

(a) (b)

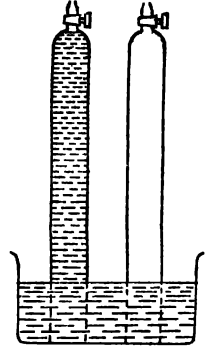
(a) বায়ুর ঊর্ধ্বচাপে কাগজ পড়িয়া যায় না

(b) বায়ুর ঊর্ধ্বচাপের জন্য কাপড় অবতল অবস্থায় জলের চাপ সহ্য করিতে পারে

কাগজের পরিবর্তে ভিজা রুমাল দ্বারা গ্লাসের মুখ বন্ধ করিয়া রুমালের প্রান্ত গ্লাসের নীচের দিকে লইয়া মোচড়াইয়া টান করিয়া ধর; এখন গ্লাসের মুখের রুমালের অংশটুকু একটু ভিতরের দিকে ঠেলিয়া দিলে কিছু জল বাহিরে আসিবে এবং রুমালখানা ওল্টানো বাটির আকারে জলের সহিত লাগিয়া থাকিবে। বায়ু উপর দিকে চাপ না দিলে নিশ্চয়ই রুমালের ঐ অংশ উপরের জলের ওজনে নীচের দিকে নামিয়া আসিত।

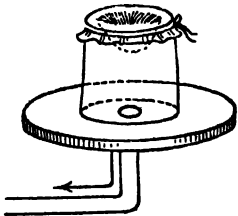
বায়ুর নিম্ন চাপ—(1) পিচকারির মুখ জলে ডুবাইয়া পিস্টন টানিয়া তুলিলে পিচকারিতে যে জল উঠে তাহা বায়ুর নিম্নচাপের ফলেই উঠিয়া থাকে। পিচকারির মুখ জলে ডুবাইয়া পিস্টনটি টানিয়া আনিলে পিচকারির ভিতরের স্থান বায়ুশূন্য হয়।

বায়ুমণ্ডলের বায়ু পাত্রের জলের উপর যে নিম্নচাপ দেয় তাহার ফলেই পিচকারির ভিতরের শূন্য স্থানে জল ঠেলিয়া উঠে।

(2) স্টপ-কক দ্বারা নীচের মুখ বন্ধ করিয়া একটি ব্যুরেট (Burrete) জল পূর্ণ করিয়া লও। ব্যুরেটের খোলা মুখ আঙুল দ্বারা বন্ধ করিয়া একটি কাঁচপাত্রের জলে নলটিকে উপুড় করিয়া ঐ মুখ জলে ডুবাইয়া আঙুল সরাইয়া আন। ব্যুরেটের জল পড়িবে না। কারণ বায়ুর নিম্নচাপ পাত্রের জলে পড়িয়া ঐ জলকে উপর দিকে ঠেলিয়া রাখিয়াছে। ব্যুরেটের উপরের বন্ধ মুখের বাহিরে কাঁচের উপর বায়ুমণ্ডলের বায়ু চাপ দিতেছে, কিন্তু উহার ভিতরের জলের উপর চাপ দিতে পারিতেছে না।

বামদিকের ব্যুরেটের স্টপ-কক বন্ধ, ডানদিকের স্টপ-কক খোলা

এই বার ব্যুরেটের মুখ খুলিয়া দাও। বায়ু এখন নলের মধ্যের জলেও চাপ দিতে পারিতেছে, বাহিরে পাত্রের জলেও সমান চাপ দিতেছে; সুতরাং জল নিজের ওজনে নীচের দিকে নামিয়া আসিবে।

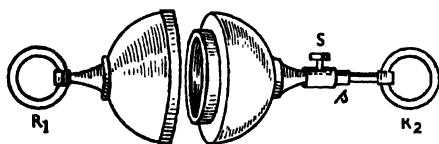
বাতপাম্প দ্বারা পরীক্ষা—বাতপাম্পের সাহায্যে বায়ুর চাপ সম্পর্কে নিম্নলিখিত পরীক্ষা করা যায়।

(1) বাতপাম্পের প্ল্যাটফর্মের উপর যথাস্থানে একটি দুই মুখ খোলা চিত্রে প্রদর্শিত আকৃতির কাঁচপাত্র বসাও। ঐ পাত্রের নীচের কিনারা এবং বাতপাম্পের প্ল্যাটফর্মের মিলনতলে ভেসেলিন দিয়া বায়ু-নিরুদ্ধ কর। ইহার উপরের মুখে একখানা পাতলা রবারের পর্দা টান্ করিয়া বাঁধিয়া রাখ। বাতপাম্প দ্বারা ঐ পাত্র হইতে বায়ু নিষ্কাশন করিতে থাকিলে রবারের পর্দাখানা ক্রমশ নীচের দিকে নামিতে থাকিবে এবং বায়ু বেশী নিষ্কাশিত হইলে ঐ পর্দা শেষ পর্যন্ত ফাটিয়া যাইবে।

বায়ুচাপে উপরের রবারের পর্দা ফাটিয়া যাইবে

(2) একটি খেলনার বেলুন ফুলাইয়া বাতপাম্পের প্ল্যাটফর্মের উপর রাখ। উহাকে বেলজার দ্বারা ঢাকিয়া দিয়া বেলজার ও প্ল্যাটফর্মের মিলনরেখায় ভেসেলিন লাগাইয়া দাও। এখন বাতপাম্প চালাইলে দেখা যাইবে যে বেলুন বা ব্লাডার ক্রমশ আয়তনে বাড়িতেছে। ইহাতে প্রমাণ হয় যে বাহিরের বায়ুর চাপ থাকার ফলে

আগে বেলুন অতটা ফুলিতে পারে নাই, এখন চাপ কমিয়াছে বলিয়া উহার আয়তন বাড়িয়াছে। আবার বেলজারে বায়ু প্রবেশ করিতে দিলে বেলুনের আয়তন পূর্বের ন্যায় হইয়া যাইবে।

(3) **ম্যাগ্‌ডিবার্গ হেমিস্ফিয়ার (Magdeburg Hemispheres)** বা ম্যাগ্‌ডিবার্গ অর্ধগোলক—জার্মানীর ম্যাগ্‌ডিবার্গ শহরে সর্বপ্রথম গ্যারিকে ঐ প্রকার অর্ধগোলক লইয়া পরীক্ষা করিয়াছেন।

চিত্রে অনুরূপ দুইটি অর্ধগোলক দেখানো হইল। ঐ অর্ধগোলকগুলি এমন যে ঐ দুইটি একত্র করিয়া জোড়ার স্থানে ভেসেলিন দিয়া রাখিলে উহা বায়ু-নিরুদ্ধ হয়। আবার উহাদের একটির মধ্যের এক ছিদ্র দিয়া পাম্পের সাহায্যে বায়ু বাহির করিয়া দিয়া স্টপ-কক আটকাইয়া দেওয়া যায়। পরে উহাতে পেঁচকলের সাহায্যে একটি কড়া বা আংটি লাগাইয়া দেওয়া চলে। অন্য অর্ধগোলকে স্থায়ীভাবে একটি আংটি লাগানো থাকে।

ম্যাগ্‌ডিবার্গ হেমিস্ফিয়ার

দুইটি অর্ধগোলক একত্র করিয়া ভেসেলিন দিয়া উহাদের জোড়ার স্থান বায়ু-নিরুদ্ধ করিয়া দিলে যে কোন ব্যক্তি দুই কড়া ধরিয়া উহাকে টানিলেই অর্ধগোলক দুইটি পৃথক হইয়া যাইবে। কিন্তু পরে আবার ঐরূপ দুই অর্ধগোলক একত্র করিয়া জোড়ার স্থানে ভেসেলিন লাগাইয়া পাম্পের সাহায্যে উহা হইতে বায়ু নিষ্কাশন কর। এখন স্টপ-কক বন্ধ করিয়া কড়া লাগাইয়া দাও। এইবার দুই অংশ দুই জনে বিপরীত দিক হইতে টানিয়াও খুলিতে পারিবে না।

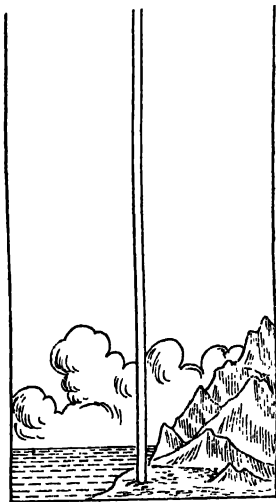
বায়ুমণ্ডলের বায়ুচাপের পরিমাণ যে কত বেশী তাহা ইহা হইতে বুঝা যায়।

4.12. বায়ুমণ্ডলের বায়ুর চাপের পরিমাণ ঃ

জলের চাপ যেমন জলস্তম্ভের গভীরতার উপর নির্ভর করে, সেইরূপ **বায়ুমণ্ডলের বায়ুর চাপও** বায়ুমণ্ডলের বায়ুর গভীরতার উপর নির্ভর করে।

সমুদ্রপৃষ্ঠের সমতলে বায়ুমণ্ডলের বায়ু এক বর্গইঞ্চি পরিমাণ স্থানে যে চাপ দেয় তাহার পরিমাণ প্রতি বর্গইঞ্চিতে 15 পাউণ্ড-ভার। ইহার প্রকৃত অর্থ এই যে, যদি আমরা সমুদ্রপৃষ্ঠের সমতলে এক বর্গইঞ্চি স্থানের উপর এমন একটি নল কল্পনা

করি যাহার শেষ প্রান্ত বায়ুমণ্ডলের ঊর্ধ্বসীমা অতিক্রম করিয়া যায় তবে ঐ নলের সমস্ত বায়ুর ওজন 15 পাউণ্ড হইবে। যে স্থান সমুদ্রপৃষ্ঠ হইতে যত উচ্চে থাকিবে, সেই স্থানে ঐ কল্পিত বায়ুস্তম্ভের নীচ দিক হইতে তত অংশ বাদ যাইবে, আবার বায়ু ক্রমশ উপরের দিকে হাল্কা, এই দুই কারণে সমুদ্রপৃষ্ঠ হইতে যত উপরে উঠা যাইবে, বায়ুর চাপও তত কম হইবে। সেই কারণে কলিকাতা হইতে দার্জিলিংএ বায়ুর চাপ কম হইবে।

একজন পূর্ণবয়স্ক লোকের দেহের মোট ক্ষেত্রফল প্রায় 16 বর্গফুটের মত হয়, ইহার উপর বায়ুর মোট চাপ বা ঘাত প্রায় 15 টনের মত হইবে। আমরা এই প্রচণ্ড চাপের মধ্যে থাকিয়াও তাহা বুঝি না; কারণ বায়ু সব দিকে সমান চাপ দিতেছে এবং জন্মাবধি আমরা ঐ চাপেই থাকিতে অভ্যস্ত।

বায়ুর ঊর্ধ্বসীমা পর্যন্ত কল্পিত বায়ুস্তম্ভ

4.13. বায়ুমণ্ডলের বায়ুর চাপ নির্ণয়ঃ

পূর্বে মুক্তস্থানে এক বর্গ একক স্থানের উপর যে কল্পিত বায়ুস্তম্ভের কথা বলা হইয়াছে উহার উচ্চতা যদি H সে. মি. হয় এবং উহার মধ্যস্থ বিভিন্ন স্তরের বায়ুর গড় ঘনত্ব যদি প্রতি ঘন সে. মিটারে ρ গ্র্যাম হয়, তবে চাপ হিসাব করিবার সাধারণ নিয়ম অনুযায়ী (68 পৃঃ) প্রতি বর্গ সেন্টিমিটারে $H\rho$ গ্র্যাম-ভার চাপ সৃষ্টি হইবে।

কিন্তু ঐ কল্পিত বায়ুস্তম্ভের উচ্চতা আমাদের সঠিক জানা নাই এবং বায়ুর বিভিন্ন স্তরে ঘনত্ব পৃথক বলিয়া গড় ঘনত্বও সঠিক জানা যায় না। সুতরাং আমরা সোজাসুজি $H\rho$ গ্র্যাম-ভারের পরিমাণ সঠিক হিসাব করিতে পারি না। সেই কারণে বায়ুমণ্ডলের বায়ুর চাপের সমান চাপ দেয় এমন তরলের স্তম্ভের দৈর্ঘ্য এবং ঘনত্ব জানিয়া বায়ুর চাপ নির্ণয় করা হয়।

যদি তরলের স্তম্ভের উচ্চতার সাহায্যে বায়ুমণ্ডলের বায়ুর চাপ মাপিতে হয় তবে যত ভারী তরল লওয়া হইবে ততই ঐ স্তম্ভের উচ্চতা কম হইবে এবং যন্ত্র নাড়াচাড়া করা তত সুবিধাজনক হইবে।

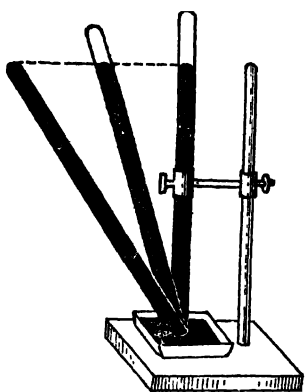
তরল পদার্থের মধ্যে পারদ সর্বাপেক্ষা ভারী বলিয়া পারদের স্তম্ভের চাপ বায়ুচাপের সমান করিয়া লইয়া উহার সাহায্যে বায়ুচাপ সহজে মাপা যায়।

বিভিন্ন দৈর্ঘ্যের কাঁচনল লইয়া পরীক্ষা—এক ফুট, দেড় ফুট, দুই ফুট এবং তিন ফুট দীর্ঘ চারিটি পুরু এক মুখ বন্ধ কাঁচনল লও।

প্রথমে 1 ফুট লম্বা কাঁচনলকে পারদপূর্ণ কর।* অন্যত্র একটি ছোট কাঁচের পাত্রে (trough) কিছু পারদ রাখ। পারদ পূর্ণ নলটির মুখ ডান হাতের বুড়ো আঙুল দ্বারা বন্ধ করিয়া নল উল্টাইয়া আঙুল সহ নলের মুখ পারদ-পাত্রের পারদের মধ্যে ডুবাইয়া সাবধানে আঙুল সরাইয়া আন। নলটিকে খাড়াভাবে দাঁড় করাইলে দেখিবে নলটি পারদপূর্ণই থাকিবে। নলটির খোলা মুখ পারদ-পাত্রের তলায় না ঠেকাইলেও পারদ পড়িবে না।

লম্বা নলকে বা গ্যাস-জারকে জলপূর্ণ করিয়া জলপাত্র উল্টাইলেও জল পড়ে না।

দেড় ফুট লম্বা নল অথবা দুই ফুট লম্বা নল লইয়া অনুরূপ পরীক্ষা করিলে একই ফল হইবে।

এইবার তিন ফুট লম্বা কাঁচনলটিকে পারদের পাত্রে আগের মত উল্টাইয়া পারদপূর্ণ করিয়া বসাও। দেখিবে সঙ্গে সঙ্গে পারদ প্রায় 6 ইঞ্চি পরিমাণ নামিয়া আসিবে। কিন্তু ইহার পর আর পারদ নীচে নামিবে না। নলের খোলা মুখ পারদ-পাত্রের তলায় না ঠেকাইলেও পারদ নামিয়া আসিবে না।

ব্যারোমিটার ক্রমশ একদিকে কাত করিলে পারদের অবস্থান যেরূপ হইবে

আগের বেঁটে নলগুলির পারদ নামিল না, কিন্তু এই নলের পারদ নামিল কেন? আর নামিল তো সব পারদ নামিয়া আসিল না কেন?

ইহার কারণ, বায়ুমণ্ডলের বায়ু যে চাপ দিতেছে তাহা 30 ইঞ্চি বা 76 সে. মি. পর্যন্ত উচ্চ পারদ-স্তম্ভকে ঠেলিয়া উপরে রাখিতে পারে; ইহার বেশী হইলে অতিরিক্ত পারদ নামিয়া আসে।

নলের পারদ ঐ ভাবে নামিয়া আসিলে উপরে যে স্থান খালি হয়, তাহাতে বায়ু প্রবেশ করিবার পথ না থাকায় বায়ু প্রবেশ করিতে পারে না বলিয়া পারদের উপরের ঐ স্থানটুকু সত্য সত্যই শূন্য থাকে।

টরিসেলি সর্বপ্রথম ঐ পরীক্ষা করিয়া বায়ুশূন্য স্থান যে থাকা সম্ভবপর তাহা

* ছোট ফানেলের সাহায্যে মোটা কাঁচনলে পারদ ঢালা যায়।

দেখাইয়াছিলেন। সেই কারণে নলের পারদের উপরের ঐ শূন্য স্থানকে টরসেলীয় শূন্য স্থান (Torricellian vacuum) বলে। ইহার পূর্বে বিজ্ঞানিগণ মনে করিতেন, প্রকৃতি শূন্য স্থানকে সহ্য করিতে পারে না, তাই কোন স্থান বস্তুশূন্য হইতে পারে না।

ঐ স্থান যে সত্য সত্যই বায়ুশূন্য তাহা সহজেই প্রমাণ করা যায়।

নলটিকে পারদের পাত্রে উল্টানো অবস্থায় এক দিকে কাত করিয়া পারদকে নলের বন্ধ মুখ পর্যন্ত লইয়া যাওয়া চলে—নলের মধ্যে বায়ু থাকিলে বায়ু স্থান দখল করিত এবং পারদ ঐ স্থান দখল করিতে পারিত না।

কিন্তু বায়ুশূন্য হইলেও ঐ স্থান একেবারে শূন্য স্থান নহে, কারণ উহার মধ্যে খুব সামান্য হইলেও একটু পারদের বাষ্প থাকে।

তিন ফুট (বা ততোধিক) লম্বা নলকে পারদপূর্ণ করিয়া পারদের পাত্রে ঐ ভাবে উল্টাইয়া খাড়াভাবে বসাইলে ব্যারোমিটার বা বায়ু চাপমান যন্ত্র নির্মিত হইল।

বায়ুমণ্ডলের বায়ুচাপের হিসাব : মনে কর ব্যারোমিটার নলের পারদ-স্তম্ভের উচ্চতা, অর্থাৎ পাত্রের পারদের লেভেল হইতে নলের পারদের লেভেল পর্যন্ত উচ্চতা, h সে. মি. এবং পারদের ঘনত্ব ρ গ্র্যাম প্রতি ঘন সে. মি.।

পাত্রের পারদ এবং নলের পারদ সংযুক্ত এবং ঐ অবস্থায় পারদ স্থির আছে। সুতরাং নলের বাহিরে পারদের উপরিতলে যত চাপ পড়িতেছে, নলের মধ্যে ঐ লেভেলে ঠিক তত চাপ পড়িতেছে। কিন্তু বাহিরের বায়ুর জন্য চাপ পড়িতেছে এবং নলের ভিতরে পারদের স্তম্ভের জন্য চাপ পড়িতেছে। ঐ পারদ-স্তম্ভের জন্য চাপ $= h\rho$ গ্র্যাম-ভার অথবা $h\rho g$ ডাইন প্রতি বর্গ সে. মিটারে। সুতরাং বায়ুর চাপও প্রতি বর্গ সেন্টিমিটারে $h\rho$ গ্র্যাম-ভার অথবা $h\rho g$ ডাইন হইবে। এইভাবে বায়ুশূন্য নলে পারদ-স্তম্ভের উচ্চতা দেখিয়া আমরা বায়ুচাপের পরিমাণ নির্ণয় করিতে পারি।

প্রমাণ চাপ : নর্ম্যাল প্রেসার (Normal pressure) : প্রমাণ বায়ুচাপ বলিলে 76 সে. মি. উচ্চ পারদ-স্তম্ভের চাপের সমান চাপ বুঝায়। সাধারণত সমুদ্রপৃষ্ঠের সমতলে ঐ পরিমাণ চাপ পড়িয়া থাকে।

∴ **বায়ুমণ্ডলের প্রমাণ চাপ** $= 76 \times 13{\cdot}6$ গ্র্যাম-ভার প্রতি বর্গ সে. মি.

$= 76 \times 13{\cdot}6 \times 981$ ডাইন প্রতি বর্গ সে. মি.

$= 1{\cdot}013 \times 10^6$ ডাইন প্রতি বর্গ সে. মি.।

ব্যারোমিটার নল মোটা বা সরু হইলে কি হইবে ? : ব্যারোমিটারের নল সরু বা মোটা হইলে ব্যারোমিটারের পারদ-স্তম্ভের উচ্চতা বেশী বা কম হইবে

না। কারণ, তরলের চাপ উহার গভীরতা এবং ঘনত্বের উপর নির্ভর করে, ক্ষেত্রফলের উপর মোট চাপ নির্ভর করিলেও চাপ নির্ভর করে না।

মনে কর একটি ব্যারোমিটার নলের প্রস্থচ্ছেদ 1 বর্গ সে. মি.। তাহা হইলে বায়ুর চাপে যতটা পারদ উপরে ঠেলিয়া রাখিয়াছে তাহার ওজন হইবে 76×13.6 গ্র্যাম-ভার। ইহার দ্বিগুণ ক্ষেত্রফল বিশিষ্ট স্থানে বায়ুর মোট চাপ হইবে $2 \times 76 \times 13.6$ গ্র্যাম-ভার; এবং ইহা মাপিবার জন্য যে পারদ-স্তম্ভের প্রয়োজন তাহারও মোট চাপ হইবে $2 \times 76 \times 13.6$ গ্র্যাম-ভার, অর্থাৎ আগের তুলনায় দ্বিগুণ পারদের আবশ্যক হইবে। নল দ্বিগুণ মোটা বলিয়া একই উচ্চতায় পারদ উঠিলেই পারদের আয়তন এবং ওজন দ্বিগুণ হইবে। সুতরাং ব্যারোমিটারের নল মোটা বা সরু হইলে পারদ-স্তম্ভের উচ্চতার কম বেশী হইবে না।

বায়ুচাপ 76 সে. মি. বলিলে কি বুঝায়?ঃ বায়ুচাপ 76 সে. মি. বলিলে আমরা বুঝি যে 76 সে. মি. উচ্চ পারদ-স্তম্ভের নীচে যত চাপ পড়ে, বায়ুর চাপও ঠিক তত, অর্থাৎ 76×13.6 গ্র্যাম-ভার প্রতি বর্গ সেন্টিমিটারে।

সেইরূপ যে কোন গ্যাসের চাপ 75 সে. মি. বলিলে 75×13.6 গ্র্যাম-ভার প্রতি বর্গ সে. মি. বুঝাইবে, কোন চাপ 38 সে মি. বলিলে 38×13.6 গ্র্যাম-ভার প্রতি বর্গ সে. মি. বুঝাইবে।

অর্থাৎ, বায়ুচাপ পারদ-স্তম্ভের উচ্চতার সমানুপাতিক। সেইজন্য **যে স্থলে চাপ তুলনা করিতে হইবে** সেই স্থলে বায়ুচাপ h সে মি. এইরূপ বলা হয়। যদি প্রকৃত চাপ বাহির করিতে হয় তবে ঐ উচ্চতাকে 13.6 দ্বারা গুণ করিয়া 'প্রতি বর্গ সেন্টিমিটারে তত গ্র্যাম-ভার' এই এককে চাপ প্রকাশ করিতে হইবে।

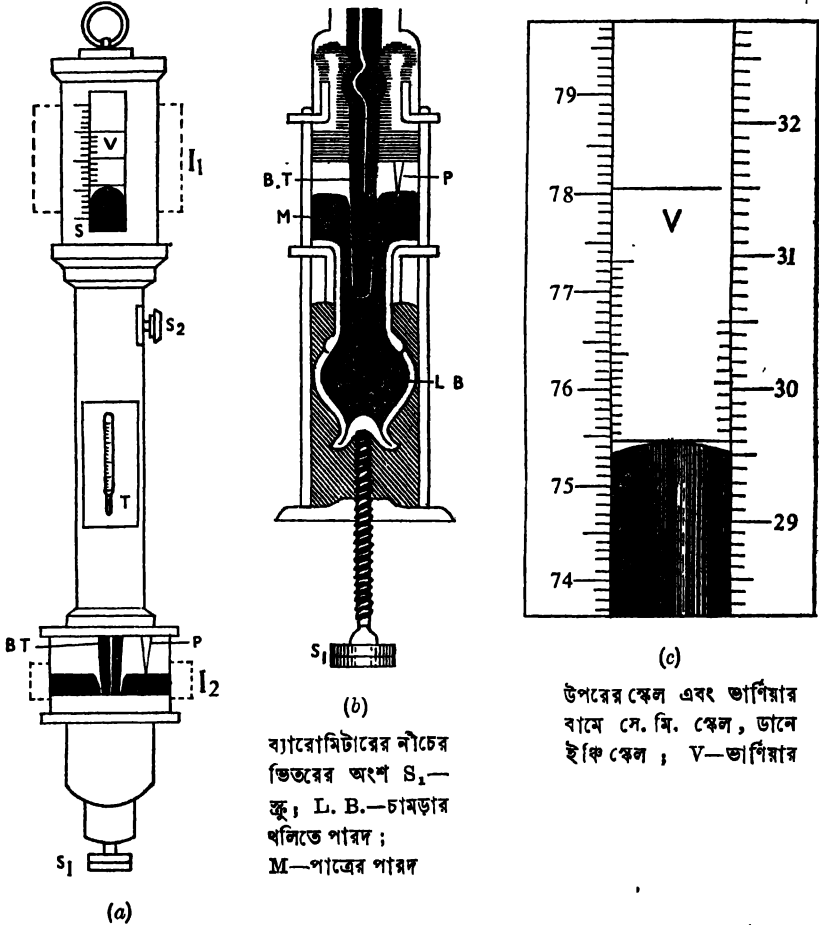
স্থায়ী ব্যারোমিটার নির্মাণঃ কোনও স্থানের বায়ুমণ্ডলের চাপের গড় পরিমাণ মোটামুটি স্থির থাকিলেও, একই দিনের বিভিন্ন সময়ে একই স্থানে বায়ুর চাপ বিভিন্ন হইয়া থাকে। পারদ-স্তম্ভের উচ্চতা মাপিতে হইলে যদি স্কেলের দাগ পাত্রের পারদের সহিত মিলাইয়া রাখা হয় তবে নলের পারদের লেভেলের পাঠ লইলেই চলিবে।

কিন্তু ব্যারোমিটারের পাশে একটি স্থায়ী স্কেল রাখিয়া উহার 0 দাগ পাত্রের পারদের লেভেলের সমতলে মিলাইয়া রাখিয়া দিলে চলিবে না। কারণ, বায়ুর চাপ বাড়িলে পাত্র হইতে পারদ নলে উঠিয়া যাইবে, এবং চাপ কমিলে নলের পারদ নীচে নামিয়া আসিবে। সুতরাং খোলা পাত্রের পারদের লেভেলের সমান উচ্চতায় স্কেলের পাঠ লইলে সব সময় পারদ-স্তম্ভের উচ্চতা সঠিক জানা যাইবে না। বিশেষ কৌশলে

এই অসুবিধা দূর করিয়া স্থায়ী স্কেল যুক্ত ব্যারোমিটার নির্মাণ করা হইয়াছে, উহার নাম ফর্টিনের ব্যারোমিটার।

4.1 4. ফর্টিনের ব্যারোমিটার (Fortin's Barometer) ঃ

প্রায় 85 সে.মি. লম্বা এক মুখ খোলা পুরু কাঁচনলকে (উহার খোলা মুখের দিক সরু) পারদ দ্বারা সম্পূর্ণরূপে ভরিয়া লইয়া একটি বিশিষ্ট গঠনের পারদ-পাত্রে উল্টাইয়া খোলা মুখ পারদে ডুবাইয়া রাখা হয়।

(b) ব্যারোমিটারের নীচের ভিতরের অংশ S_1—স্ক্রু; L. B.—চামড়ার থলিতে পারদ; M—পাত্রের পারদ

(c) উপরের স্কেল এবং ভার্ণিয়ার বামে সে. মি. স্কেল, ডানে ইঞ্চি স্কেল ; V—ভার্ণিয়ার

(a)

(a) ফর্টিনের ব্যারোমিটার; উপরে I_1—ব্যারোমিটার নলের পশ্চাতের আইভরি প্লেট; S—স্কেল; V—ভার্ণিয়ার (ভার্ণিয়ারের নীচের কালো অংশ ব্যারোমিটার নলের পারদ-স্তম্ভের উর্ধ্বসীমা); S_2—র‍্যাক এবং পিনিয়নের স্ক্রু, ইহা দ্বারা ভার্ণিয়ারকে উপর নীচ করা হয়। T—থার্মমিটার; B. T.—ব্যারোমিটারের কাঁচনলের নীচের অংশ; P—আইভরি পিন, S_1—স্ক্রু, ইহা দ্বারা পাত্রের পারদের লেভেল উঁচুনীচু করা যায়।

ঐ নলটি একটি খাড়া পিতলের নলের মধ্যে থাকে এবং পিতলের নলটি দেওয়ালের সহিত খাড়াভাবে আটকানো থাকে। ঐ পিতলের নলের উপরের অংশের সম্মুখ ও পশ্চাৎ দিক হইতে স্লিটের ন্যায় সরু দুই অংশ কাটিয়া কাঁচনলটি দেখিবার ব্যবস্থা রহিয়াছে। ঐ স্লিটের সম্মুখেরটির মধ্যে একটি ভার্ণিয়ার স্কেল দুই দিক ঘেঁষিয়া উঠানামা করে। নলে সংযুক্ত একটি স্ক্রু ঘুরাইয়া ভার্ণিয়ারকে ঐরূপ উঠানো বা নামানো যায়। নলের গায়ে স্লিটের দুই দিকে দুইটি স্কেল আছে—উহাদের একটি সেণ্টিমিটারে এবং অপরটি ইঞ্চিতে দাগ কাটা। নীচে 69 সে.মি. হইতে উপরে 83 সে.মি. পর্যন্ত পড়িবার ব্যবস্থা আছে। বায়ুমণ্ডলের বায়ুচাপ সাধারণত এই সীমার মধ্যেই থাকে।

ভার্ণিয়ারের নীচের সীমা-রেখাই উহার 0 দাগ নির্দেশ করে। স্ক্রু ঘুরাইয়া পারদ-স্তম্ভের সমান উচ্চতায় ভার্ণিয়ারের নীচের প্রান্ত মিলাইয়া দিয়া উহার বরাবরে স্কেলের দাগের পাঠ লইতে হয়। এজন্য চোখ পারদ-স্তম্ভের একই উচ্চতায় অনুভূমিক রেখায় রাখিতে হইবে। ঐ অবস্থান নির্ণয়ের সুবিধার জন্য নলের যে স্থানে স্লিট আছে তাহার পশ্চাতে দেওয়ালে একখানা আইভরির টুকরা লাগানো থাকে।

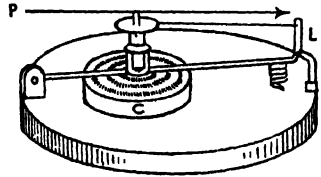
যে স্কেলের কথা বলা হইয়াছে তাহার শূন্য দাগ যাহাতে প্রত্যেক বার পারদ-পাত্রের পারদের উপরিতলের সহিত মিলিয়া থাকে, তজ্জন্য পারদ-পাত্রের নীচের অংশে একটি চামড়ার থলে থাকে। ঐ থলের নীচে একটি কাঠের টুকরা আছে এবং উহাতে একটি কাঠের স্ক্রু সংযুক্ত আছে। ঐ স্ক্রু ঘুরাইয়া থলেকে উপরে ঠেলিয়া দেওয়া যায় অথবা নীচে আনা যায়; ফলে পারদ-পাত্রের পারদের উপরিতলও উপরে উঠে বা নীচে নামে।

পারদের পাত্রের উপরের যে অংশ কাঁচ-নির্মিত তাহার উপর হইতে একটি আইভরি পিন খাড়াভাবে নীচের দিকে গিয়াছে এবং ঐ পিনের সর্বনিম্ন বিন্দুকে শূন্য দাগ ধরিয়া স্কেলের দাগ কাটা আছে।

যখন ব্যারোমিটারের পারদ-স্তম্ভের উচ্চতা মাপিবার আবশ্যক হয়, তখন আগে ঐ কাঠের স্ক্রু ঘুরাইয়া পাত্রের পারদের লেভেল এমন স্থানে আনিতে হইবে যেন একই উচ্চতায় চোখ রাখিয়া দেখিলে পারদে প্রতিফলিত আইভরি পিনের উল্টা প্রতি-বিম্বের শেষ বিন্দু প্রকৃত পিনের নীচের শেষ বিন্দুর সহিত মিলিত দেখা যায়। এখানেও দেখিবার জন্য একখানা আইভরি পারদ-পাত্রের উপরের অংশের পশ্চাতে স্থাপন করা থাকে।

আইভরি পিন ও পারদ যে প্রকোষ্ঠে আছে, উহার উপর দিকের একটি ছিদ্রের সহিত প্রকোষ্ঠের বায়ুর সহিত বাহিরের বায়ুর সংযোগ থাকে।

ফর্টিনের ব্যারোমিটারই সবচেয়ে ভাল ব্যারোমিটার। কিন্তু ইহা একস্থান হইতে অন্যত্র লইয়া যাওয়া অসুবিধাজনক ; সেই কারণে তরল বিহীন **এনিরয়েড ব্যারোমিটার** প্রস্তুত করা হইয়াছে।

এনিরয়েড (Aneroid) ব্যারোমিটার ঃ মাখনের চেপ্‌টা কৌটার মত একটি ধাতুনির্মিত কৌটার উপরের দিক একখানা হাল্‌কা গোলাকার ধাতুর পাত দ্বারা গঠিত ; উপরের ঐ গোলাকার পাতখানা বৃত্তাকারে করগেট করা (Corrugated) থাকে। ঐ পাত্র যথাসম্ভব বায়ুশূন্য করিয়া সম্পূর্ণরূপে বায়ু-নিরুদ্ধ করা হয়। বায়ুর চাপ বাড়িলে উপরের পাতখানা একটু নীচে চলিয়া যায়, চাপ কমিলে উপরে উঠে—পাতখানায় বৃত্তকার ঢেউ থাকায় ঐরূপ উঠানামার পরিমাণ একেবারে নগণ্য হয় না। ঐ পাতের উপর একটি স্প্রিং এবং স্প্রিংএর সহিত একটি শলাকা সংযুক্ত থাকে। পাতখানা উঠানামা করিলে ঐ শলাকা ঘড়ির ডায়েলের ন্যায় একটি ডায়েলের উপর ঘুরিয়া যায়। পূর্ব-নির্ণীত বিভিন্ন মানের চাপ প্রয়োগ করিয়া ঐ ডায়েলে কাঁটার বিভিন্ন অবস্থানে দাগ কাটিয়া রাখা হয়। ভবিষ্যতে উহা দ্বারা চাপ মাপা যায়। এরোপ্লেনে উঠিবার সময়ে অথবা পর্বতশৃঙ্গ আরোহণের অভিযানে ঐ প্রকার ব্যারোমিটার বা **অল্টিমিটার (Altimeter)** সঙ্গে লইয়া যাওয়া হয়।

এনিরয়েড ব্যারোমিটার

যত উপরে উঠা যায় ততই বায়ুমণ্ডলের বায়ুর চাপ কমে, সুতরাং ঐ চাপ দেখিয়া উচ্চতা কত তাহা জানা যায়। অল্টিমিটারে চাপের পরিবর্তে উচ্চতা দেখাইয়া ডায়েলে দাগ কাটা হয়।

অন্য তরলের ব্যারোমিটার—আগেই বলা হইয়াছে যে, পারদ সবচেয়ে ভারী তরল বলিয়া উহা দ্বারা ব্যারোমিটার নির্মাণ করা সুবিধাজনক। যদি পারদের পরিবর্তে জল দ্বারা ব্যারোমিটার প্রস্তুত করা হয় তবে জলস্তম্ভের উচ্চতা হইবে পারদ-স্তম্ভের 13·6 গুণ ; কারণ পারদ জলের তুলনায় 13·6 গুণ ভারী।

∴ জলের ব্যারোমিটারের উচ্চতা $= 76 \times 13{\cdot}6$ সে মি.
$= 1033{\cdot}6$ ”
$= 33{\cdot}91$ ফুট

অর্থাৎ জল দ্বারা ব্যারোমিটার প্রস্তুত করিলে ইহার উচ্চতা হইবে প্রায় 34 ফুট। ঐরূপ ব্যারোমিটার খাটানো মুস্কিল, সাধারণ ঘরে উহা রাখা চলিবে না এবং অনুরূপ নানা কারণে জল বা অন্য কোন তরল দ্বারা ব্যারোমিটার প্রস্তুত করা হয় না।

পারদ ব্যবহারের অন্য সুবিধাও আছে। উহা অস্বচ্ছ বলিয়া সহজে উহার শেষ প্রান্ত দেখা যায়, উহা কাঁচের নলের গা ভিজায় না, ব্যারোমিটারের নলের উপরিস্থ শূন্য স্থানে পারদের বাষ্প যে চাপ দেয় তাহা অতিশয় নগণ্য।

ব্যারোমিটার ঘরের ভিতরে বা মাঠে সাজাইলে পারদ-স্তম্ভের উচ্চতার কোন প্রভেদ হইবে না। কারণ প্রতি বর্গ সেন্টিমিটারের উপরিস্থিত যে কল্পিত বায়ু-স্তম্ভের মধ্যস্থ বায়ুর ওজনকে আমরা চাপ বলিয়াছি, ঘরের মধ্যে সেই স্তম্ভের উচ্চতা কম হইলেও ঘরের বায়ুর সহিত বাহিরের বায়ুর সংযোগ থাকায় একই উচ্চতায় বায়ুমণ্ডলের বায়ুর চাপ সর্বত্র সমান হইবে।

ব্যারোমিটারের উচ্চতার উপর বায়ুস্থ জলীয় বাষ্পের প্রভাব—বায়ুতে জলীয় বাষ্প মিশ্রিত থাকে; কখন কখন কোন নির্দিষ্ট আয়তন বায়ুতে ঐ বাষ্পের পরিমাণ বেশী হয়, কখনও বা কম হয়। জলীয় বাষ্প সম-আয়তন বায়ুর তুলনায় হাল্কা। সুতরাং বায়ুতে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ বৃদ্ধি পাইলে কল্পিত বায়ুস্তম্ভের মধ্যস্থ বায়ু ও জলীয় বাষ্পের মিলিত ওজন প্রতি বর্গ সেন্টিমিটারে শুষ্ক বায়ুর ওজন অপেক্ষা কম হইবে। সুতরাং বায়ুর চাপ কমিয়া যাইবে। আবার জলীয় বাষ্পের পরিমাণ কমিলে শুষ্ক বায়ুর চাপ বৃদ্ধি পাইবে। (এক স্থানের জলীয় বাষ্প বৃদ্ধি পাইলে শুষ্ক বায়ু সরিয়া অন্যত্র চলিয়া যায়।)

4.15. বায়ুমণ্ডলের বায়ুর চাপ ও আবহাওয়া :

বায়ুমণ্ডলের বায়ুর চাপ যদি কমিতে থাকে তবে বুঝিতে হইবে বায়ুতে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ বৃদ্ধি পাইতেছে; সেইজন্য ব্যারোমিটারের পারদ-স্তম্ভের উচ্চতা ক্রমশ কমিলে বায়ুতে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ বৃদ্ধি পাইতেছে বুঝা যায় এবং অদূর ভবিষ্যতে বৃষ্টি হইবে আশা করা যায়।

ব্যারোমিটারের উচ্চতা হঠাৎ খুব বেশী কমিয়া গেলে (অন্তত 5/6 সেন্টিমিটার) ঝড় হওয়ার সম্ভাবনা বুঝা যায়। কারণ ঐ স্থানের বায়ুর চাপ হঠাৎ কমিয়া যাওয়ায় চারিদিক হইতে উচ্চ চাপের বায়ু ঐ স্থানে ছুটিয়া আসিবে।

বায়ুচাপ ধীরে ধীরে বাড়িলে শীঘ্রই মেঘমুক্ত দিনের সম্ভাবনা বুঝায়।

আবহাওয়ার পূর্বাভাস দিবার জন্য ব্যারোমিটার যন্ত্রের চাপ জানা প্রয়োজন, কিন্তু মাত্র উহার উপর নির্ভর করিয়া আবহাওয়ার পূর্বাভাস দেওয়া চলে না। আবহাওয়া অফিসে আরও বহু যন্ত্রের সাহায্যে বায়ুর গতি, উষ্ণতা, জলীয় বাষ্পের পরিমাণ, চাপের পরিবর্তন প্রভৃতি লক্ষ্য করিয়া পূর্বাভাস দেওয়া হয়।

আবহাওয়া মানচিত্র : পৃথিবীর বিভিন্ন স্থানের আবহাওয়া অফিসগুলি প্রত্যহ ঐ অফিসের অধীন বিভিন্ন স্থানের উষ্ণতা, চাপ, বৃষ্টিপাত প্রভৃতির পরিমাণ সংগ্রহ

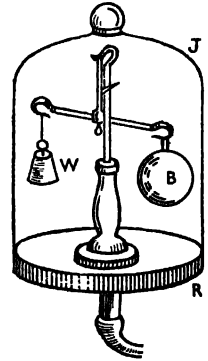
করিয়া থাকে। যে সকল স্থানে বৎসরের কোন নির্দিষ্ট সময়ে একই চাপ থাকে ঐ অঞ্চলের ম্যাপে উহাদিগকে একটি একটানা রেখা দ্বারা যোগ করা হয়। ঐ রেখা প্রায়ই আঁকাবাঁকা হইয়া থাকে। এইভাবে কোন অঞ্চলের, দেশের বা পৃথিবীর মানচিত্রে যে সকল রেখা দ্বারা সমচাপ যুক্ত স্থানকে যোগ করা হয় উহাদিগকে Isobars বলা হয়।

অনুরূপভাবে মানচিত্রে উষ্ণতা বা বৃষ্টিপাতের পরিমাণ দেখাইবার জন্যও ঐ প্রকার রেখা টানা হয়। এই প্রকার ম্যাপকে আবহাওয়ার ম্যাপ বলে।

4.16. বায়ুর প্লবতা ঃ

তরল পদার্থের প্লবতা সম্পর্কে আগে বলা হইয়াছে। কোন বস্তু কোন তরল পদার্থে নিমজ্জিত হইলে যত ওজনের তরল পদার্থ অপসারণ করে, নিমজ্জিত অবস্থায় ঐ বস্তুর ওজন ঠিক ততটা কমিয়া যায় বলিয়া মনে হয়। আর্কিমিদিসের ঐ সূত্র যে কোন গ্যাসের পক্ষেও সত্য।

বাতপাম্প বা বায়ু-নিষ্কাশন যন্ত্র এবং অন্যান্য প্রয়োজনীয় কয়েকটি বস্তুর সাহায্যে এ সম্পর্কে একটি সুন্দর পরীক্ষা করা চলে।

পরীক্ষা—একটি বাতপাম্পের প্লাটফর্মের উপর একটি ছোট তুলা বসাও। ইহার একদিকে একটি ফাঁপা কাঁচের বল সুতা দিয়া ঝুলাইয়া দাও এবং অপরদিকে ওজনের বাক্স হইতে প্রমাণ ভর দিয়া তুলাদণ্ড অনুভূমিক কর। এখন একটি বেল্‌জার দ্বারা তুলাকে ঐ অবস্থায় সম্পূর্ণরূপে ঢাকিয়া দাও। বেল্‌জারের উপরে ছিপি থাকিলে উহা ভালরূপে আঁটিয়া দাও এবং বেল্‌জার পাম্পের সহিত যে রেখায় লাগিয়া আছে তাহাতে ভেসেলিন লাগাইয়া বায়ু-নিরুদ্ধ কর। এখন পাম্প চালাইয়া বেল্‌জার হইতে বায়ু নিষ্কাশন করিলে দেখা যাইবে যে, তুলার যে দিকে বলটি আছে সেই দিক নীচে নামিয়া যাইবে। ইহাতে প্রমাণ হয় যে, বায়ু থাকিলে বলটিকে বায়ু উপরের দিকে ঠেলিয়া রাখে; অর্থাৎ বায়ুর প্লবতা আছে।

বায়ুর প্লবতা না থাকায় B বলটি নীচে নামিয়া গিয়াছে

দ্রষ্টব্য—খুব সরু (সহজে নমনীয়) স্প্রিং-ব্যাল্যান্স ব্যবহার করিয়া (একটা ছোট স্ট্যাণ্ড ও ক্ল্যাম্প হইতে স্প্রিং-ব্যাল্যান্স ঝুলাইয়া) ঐ পরীক্ষা করিলে বেল্‌জারের মধ্যে বায়ু না থাকিলে কর্কের ওজন কতটা বাড়ে তাহা ব্যাল্যান্সের স্কেলের পাঠ

হইতে জানা যাইবে, সুতরাং বায়ু কতটা উর্ধ্বচাপ দেয় তাহাও জানা যাইবে। কর্কের আয়তন মাপিয়া লইয়া এবং যখন পরীক্ষা করা হইতেছে সেই সময়ের বায়ুর উষ্ণতা ও চাপ জানিয়া ঐ আয়তনের বায়ুর ওজন হিসাব করিয়া বাহির করা চলে। ঐভাবে হিসাব করিলে দেখা যাইবে যে, কর্ক দ্বারা অপসারিত বায়ুর ওজন যত, বায়ুতে নিমজ্জিত অবস্থায় কর্কের ওজন প্রায় ততটাই কম হয়। বায়ুতে আর্কিমিদিসের নিয়ম প্রযোজ্য ইহা সম্পূর্ণরূপে প্রমাণ করিতে হইলে পরীক্ষার এই অংশও করা আবশ্যক।

বেলুনের ভাসন—যদি কোন বস্তুর ওজন উহা যে পরিমাণ বায়ু অপসারণ করে তাহার সমান হয়, তবে আর্কিমিদিসের সূত্র অনুযায়ী ঐ বস্তু নিজের ওজনের সমান উর্ধ্বচাপ পাইবে এবং ফলে বায়ুতে ভাসমান অবস্থায় থাকিবে। কিন্তু বায়ুর ওজন খুব কম বলিয়া সাধারণ কোন পদার্থ বায়ু অপসারণ করিয়া যতটা উর্ধ্বচাপ পায় তাহার ফলে বায়ুতে ভাসমান অবস্থায় থাকিতে পারে না। কিন্তু হাইড্রোজেনের তুলনায় বায়ু প্রায় 14 গুণ ভারী ; সুতরাং হাইড্রোজেন পূর্ণ হালকা রবারের বেলুন যত ওজনের বায়ু অপসরণ করে, তাহা বেলুনের রবার এবং বেলুনের মধ্যস্থ হাইড্রোজেনের ওজন অপেক্ষা বেশী হইতে পারে। সেই কারণে হাইড্রোজেন পূর্ণ বেলুন ছাড়িয়া দিলে উহা আকাশের উপর দিকে উঠিয়া যায়। বায়ুমণ্ডলের উপরের স্তরের বায়ু হাল্‌কা ; সুতরাং যখন বেলুন এমন উচ্চতায় উঠিবে যে, ঐ স্থানে উহার নিজের ওজন অপসারিত বায়ুর ওজনের সমান হয়, তখন আর উহা উপরে যাইবে না।

যাত্রী সহ যে বেলুন উপরে উঠে সেই ক্ষেত্রে, বেলুন, আরোহীর খাঁচা, আরোহী প্রভৃতি বেলুনের সহিত সংলগ্ন সমস্ত ওজন বেলুন দ্বারা অপসারিত পৃথিবীর সর্বনিম্ন স্তরের বায়ুর ওজন অপেক্ষা কম হয়।

এরোপ্লেন অন্য কারণবশত আকাশে উড়িয়া চলিতে সমর্থ হয়—উহা বায়ুতে ভাসিয়া বেড়ায় না, বেলুন বায়ুতে ভাসিয়া বেড়ায়।

প্রশ্ন

1. বায়ুও একটি পদার্থ। ইহা কি করিয়া প্রমাণ করিবে ?

(How would you prove that air is also a kind of matter ?)

2. বায়ুমণ্ডল কাহাকে বলে ? বায়ুমণ্ডলের চাপের অস্তিত্ব দেখাইবার জন্য তিনটি পরীক্ষা বর্ণনা কর।

(What is meant by the "atmosphere" ? Describe three experiments to show that atmostpheric air exerts pressure.)

3. বায়ু সব দিকে সমান চাপ দেয় তাহা কি করিয়া দেখাইবে ?

(How would you show that air exerts equal pressure in all directions ?)

4. ম্যাগ ডিবার্গ অর্ধগোলক দ্বারা কি প্রমাণ করা যায় ? কিভাবে ?

(What fact is proved by Magdeberg's hemispheres ? How ?)

5. বায়ুমণ্ডলের চাপ বলিলে সংখ্যাত্মক ভাবে (quantitatively) কি বুঝায় ?

(What is the quantitative meaning of "a pressure of one atmosphere" ?)

6. ব্যারোমিটারের সাহায্যে বায়ুমণ্ডলের চাপ কি করিয়া মাপা যায় ?

(How can the atmospheric pressure be measured by a barometer ?)

7. বায়ুমণ্ডলের প্রমাণ চাপ বলিলে কি বুঝায় ? "বায়ুচাপ 75 সে. মি." ইহার প্রকৃত অর্থ কি ?

(What is meant by normal atmospheric pressure ? What is the real meaning of the statement "air pressure is 75 c.m." ?)

8. ফর্টিনের ব্যারোমিটারের চিত্র অঁাকিয়া বিভিন্ন অংশ চিহ্নিত করিয়া ঐ অংশগুলির নাম লিখ। ব্যারোমিটার কিভাবে পড়িতে হয় ?

(Draw a diagram of Fortin's barometer and label its different parts. How is it read ?)

9. এনিরয়েড ব্যারোমিটারের গঠন কিরূপ ? ইহা দ্বারা কি করা চলে ?

(What is the construction of an Aneroid barometer ? What use it can be put to ?)

10. জলপূর্ণ ব্যারোমিটারের উচ্চতা কত হইবে ? উহা কিভাবে হিসাব করিবে দেখাও।

(What will be the height of a water barometer ? How will you find that height ?)

11. ব্যারোমিটারের সাহায্যে আবহাওয়া সম্পর্কে কিরূপে পূর্বাভাস দেওয়া হয় ?

(State how barometer is used for weather forecasting ?)

12. 'বায়ুতেও আর্কিমিদিসের নিয়ম প্রযোজ্য' ইহা কিভাবে দেখানো যাইবে ?

(How can it be shown that Archimedes' principle is applicable to objects in air ?

14. বেলুন কিভাবে বায়ুতে ভাসিয়া থাকে ?

(How does a baloon float ?)

দ্বিতীয় পাঠ

4.2. গ্যাসের চাপঃ

তরলের চাপের সহিত বায়ুমণ্ডলের বায়ুর চাপের বহু বিষয়ে সাদৃশ্য আছে। সেইগুলি এই—

(1) বায়ুমণ্ডলের উর্ধ্বসীমা হইতে কোন নির্দিষ্ট গভীরতায় চাপ সব দিকে সমান হয়।

(2) ঐ সীমা হইতে গভীরতা যত বেশী হয় চাপ তত বেশী হয়।

(3) বায়ুমণ্ডলের বায়ুর (জলীয় বাষ্পসহ) ঘনত্ব যত বেশী হয়, চাপ তত বেশী হয়।

(4) বায়ুমণ্ডলের বায়ুর প্লবতা আছে; এবং প্লবতার ক্ষেত্রে আর্কিমিদিসের নিয়ম প্রযোজ্য।

(5) বায়ুমণ্ডলের বায়ু যে তলের সহিত সংস্পর্শযুক্ত থাকে, সেই তলের উপর লম্বভাবে চাপ দেয়।

কিন্তু কোন কোন বিষয়ে **তরলের চাপের সহিত গ্যাসের চাপের পার্থক্য আছে**; যথা—

(1) মনে কর একটি লম্বা জার জলপূর্ণ আছে। একটি পরখনলের মুখে ছিপি আঁটিয়া উহাকে জারের তলায় নিয়া উহার ছিপি খুলিয়া পরখনলকে জলপূর্ণ কর। ঐস্থানে কর্ক বন্ধ করিয়া পরখনল উপরে লইয়া আস।

জারের জলের যে গভীরতায় পরখনলপূর্ণ করা হইয়াছে সেই গভীরতা যদি 50 সে. মি. ধরা হয় তবে ঐ স্থানে জলের চাপ হইবে 50×1 গ্র্যাম-ভার প্রতি বর্গ সেন্টিমিটারে; কিন্তু যদি পরখনল 8 সে. মি. লম্বা হয় তবে পরখনলের তলদেশে যে চাপ হইবে, তাহার পরিমাণ হইবে 8×1 গ্র্যাম-ভার প্রতি বর্গ সে. মি.।

অর্থাৎ, কত চাপের জল পরখনলে আবদ্ধ করা হইয়াছে তাহার উপর পরখনলের জলের চাপ নির্ভর করিবে না। পরখনলের মধ্যস্থ কোন বিন্দুতে চাপ পরখনলের জলের গভীরতার উপর নির্ভর করিবে।

কিন্তু যদি কোন পাত্রে কোন নির্দিষ্ট চাপের বায়ু বা অন্য কোন গ্যাস আবদ্ধ করা হয় তাহা হইলে ঐ পাত্রের গ্যাসের চাপ ততই থাকিবে। ঐ পাত্রের মধ্যস্থ বায়ুর বা গ্যাসের গভীরতার উপর চাপ নির্ভর করিবে না।

(2) নির্দিষ্ট উষ্ণতায় নির্দিষ্ট ওজনের তরলের উপর প্রচণ্ড চাপ বাড়াইলে আয়তন অতি সামান্যই কমে। কিন্তু নির্দিষ্ট উষ্ণতায় নির্দিষ্ট ওজনের গ্যাসের উপর চাপ বাড়াইলে উহার আয়তন (ব্যস্ত অনুপাতে) কমিয়া যায়, এবং চাপ কমাইলে আয়তন বাড়ে। ইহাকে **বয়েলের** সূত্র বলে।

4.21. বয়েলের সূত্র (Boyle's Law) ঃ

নির্দিষ্ট উষ্ণতায় নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন চাপের ব্যস্ত অনুপাতে পরিবর্তিত হয়।

অর্থাৎ, নির্দিষ্ট উষ্ণতায় কোন বায়ু-নিরুদ্ধ পাত্রে নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাস লইয়া পিস্টনের সাহায্যে চাপ দ্বিগুণ করিলে উহার আয়তন অর্ধেক হইবে, চাপ তিনগুণ করিলে আয়তন $\frac{1}{3}$ অংশ হইবে, ইত্যাদি। সেইরূপ আয়তন দ্বিগুণ করিলে চাপ $\frac{1}{2}$ হইবে এবং আয়তন 5 গুণ করিলে চাপ $\frac{1}{5}$ হইবে, ইত্যাদি। সুতরাং চাপ এবং আয়তনের গুণফল সর্বদা একই থাকিবে।

যদি নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন কোন নির্দিষ্ট উষ্ণতায় V হয় এবং তাহা P চাপে থাকে তবে $V \propto \frac{1}{P}$, অথবা $PV=$ ধ্রুবক।

ঐ উষ্ণতায় যখন চাপ পরিবর্তিত হইয়া P_1 হইবে, তখন আয়তন এমনভাবে পরিবর্তিত হইয়া V_1 হইবে যাহাতে $P_1 V_1=PV$ হয়, যদি পরে আবার চাপ P_2 হয় তবে আয়তন V_2 এমন হইবে যাহাতে $P_2 V_2=P_1 V_1=PV$ হয়।

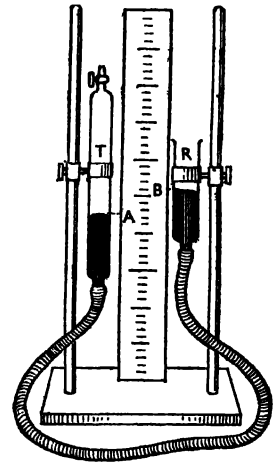
বয়েলের নিয়ম পরীক্ষা ঃ

এই নিয়মের সত্যতা পরীক্ষার জন্য যে যন্ত্র আবশ্যক তাহা দেখানো হইল। T একটি সবস্থানে সমান মোটা কাঁচনল ইহার উপরের মুখ বন্ধ (অথবা স্টপ-কক দ্বারা বন্ধ রাখিবার ব্যবস্থা যুক্ত)। ঐ নলে শুষ্ক বায়ু (অথবা অন্য গ্যাস) থাকে। ইহার নীচের অংশ একটি রবারের নল দ্বারা একটি পারদের ধারকের (Reservoir) সহিত যুক্ত। ঐ R পাত্রটি এবং T নল একটি উল্লম্ব স্কেলের দুইপাশে থাকে এবং স্কেলের গা ঘেঁষিয়া উঠানামা করিতে পারে, আবার যে কোন উচ্চতায় উহাদিগকে আটকাইয়া রাখা চলে।

প্রথমে ব্যারোমিটারের পারদ-স্তম্ভের উচ্চতা দেখিতে হইবে। মনে কর, উহা যেন H সে. মি। এখন R পাত্রটি এমন স্থানে আটকাইয়া রাখ যে, R পাত্র এবং T নলের পারদের সমতল একই উচ্চতায় থাকে। এই অবস্থায় T নলের উপরের বন্ধ প্রান্তের লেভেল এবং ভিতরের পারদের লেভেলের পার্থক্য মনে কর l সে. মি.।

বয়েলের নিয়ম প্রমাণের যন্ত্র

নলের বায়ুতে যে চাপ পড়িতেছে তাহা বায়ুমণ্ডলের বায়ুচাপের সমান এবং H এর সমানুপাতিক। আর নলের মধ্যে যে বায়ু আছে তাহার আয়তন l-এর সমানুপাতিক, কারণ নলের প্রস্থচ্ছেদ সর্বত্র সমান। সুতরাং $H\,l$ এই গুণফল PV-এর সমানুপাতিক।

এখন R পাত্রটি উপরে তুলিলে T নলের পারদও উপরে উঠিবে, কিন্তু ভিতরের বায়ুর চাপে R পাত্রের মধ্যস্থ পারদের লেভেলের সমান উঠিবে না। নলের বন্ধ প্রান্তের পাঠ হইতে নলের মধ্যস্থ পারদের লেভেলের পার্থক্য মনে কর l_1 সে. মি. হইল এবং নলের পারদ এবং R আধারের পারদের লেভেলের পার্থক্য যেন h_1 সে. মি. হইল।

নলের মধ্যস্থ পারদের উপর নলের বায়ুর চাপ পড়িতেছে, এবং ঐ লেভেলে R পাত্রের h_1 সে. মি. পারদের চাপ+উপরের বায়ুমণ্ডলের বায়ুচাপ পড়িতেছে। বায়ুমণ্ডলের বায়ুচাপ H সে. মি. পারদের চাপের সমান বলিয়া মোট চাপ $(H+h_1)$ সে. মি. পারদের চাপের সমান হইতেছে।

সুতরাং আয়তন যখন l_1-এর সমানুপাতিক, চাপ তখন $(H+h_1)$ এর সমানুপাতিক। দেখা যাইবে যে $(H+h_1)\,l_1 = H.\,l.$

এক্ষণে R ধারককে নীচের দিকে নামাইয়া এমন অবস্থানে আন যে ধারকের পারদ-লেভেল যেন নলের পারদ-লেভেল অপেক্ষা নীচে থাকে। মনে কর ঐ দুই লেভেলের পার্থক্য h'_1 সে. মি. হইল। ঐ সময়ে নলের বন্ধ প্রান্ত এবং পারদের লেভেলের পার্থক্য l'_1 সে. মি. হইলে, l'_1 সে. মি. বায়ুর চাপ$+h'_1$ সে. মি. পারদের চাপ=বায়ুমণ্ডলের বায়ুচাপ।

$\therefore$ নলের বায়ুর চাপ $(H-h'_1)$ এর সমানুপাতিক এবং বায়ুর আয়তন l'_1-এর সমানুপাতিক। দেখা যাইবে যে $(H-h'_1)\,l'_1 = H.l = (H-h_1)\,l_1$; ইহাতে বায়ুমণ্ডলের সাধারণ চাপের বেশী এবং কম চাপে বয়েলের নিয়মের সত্যতা প্রমাণিত হইল।

অঙ্ক (1) একটি বয়েলের যন্ত্রের কাঁচনলে 76 সে. মি. চাপে যে বায়ু আছে তাহার ঘনত্ব ·00103 গ্র্যাম প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে। ঐ নলের মধ্যস্থ বায়ুচাপ 86 সে. মি. হইলে ঐ বায়ুর ঘনত্ব কত হইবে?

মনে কর, ঐ নলে 76 সে. মি. চাপে যে বায়ু আছে তাহার আয়তন যেন v ঘন সে. মি.

$\therefore$ v ঘন সে. মি. বায়ুর ভর $= v \times {\cdot}00103$ গ্র্যাম।

যদি 86 সে. মি. চাপে ঐ বায়ুর আয়তন v' হয়, তবে বয়েলের নিয়ম অনুযায়ী—

$$76 \times v = 86 \times v'$$

এবং যেহেতু উভয় ক্ষেত্রে গ্যাসের ভর সমান—

$\therefore$ ${\cdot}00103 \times v = v' \times \rho'$; ρ' নির্ণেয় ঘনত্ব।

$$\therefore\ v' = \frac{{\cdot}00103 \times v}{\rho'}$$

$$\therefore\ 76 \times v = 86 \times \frac{{\cdot}00103 \times v}{\rho'}$$

$$\rho' = \frac{86 \times {\cdot}00103}{76}$$

$= {\cdot}00166$ গ্র্যাম প্রতি ঘন সে. মি।

অঙ্ক (2) একটি দোষযুক্ত ব্যারোমিটারের নলের দৈর্ঘ্য খোলা পাত্রের পারদের সমতল হইতে 82 সে. মি. এবং পারদ-স্তম্ভের দৈর্ঘ্য 72 সে. মি.। ঐ সময়ে প্রকৃত চাপ 75 সে মি.। যখন ভুল ব্যারোমিটার 74 সে. মি. চাপ দেখাইবে তখন ভাল ব্যারোমিটারে চাপ কত হইবে ?

মনে কর, ব্যারোমিটার নলের ক্ষেত্রফল যেন α বর্গ সে. মি.।

তাহা হইলে ভুল ব্যারোমিটারের উপর প্রথম অবস্থায় যে বায়ু আছে তাহার আয়তন $=\alpha\times10$ ঘন সে. মি.।

ঐ বায়ুর চাপে পারদ 3 সে. মি. নামিয়া গিয়াছে, কারণ প্রকৃত চাপ ঠিক ব্যারোমিটারে তখন 75 সে মি. ছিল, এবং ভুল ব্যারোমিটারে বায়ু না থাকিলে পারদ এখানেও 75 সে মি. পর্যন্ত উঠিত, বায়ু থাকায় বায়ুর চাপের জন্যই 3 সে. মি. উঠিতে পারে নাই।

সুতরাং $P_1 \ V_1=3\times(\alpha\times10)$

দ্বিতীয় অবস্থায় ভুল ব্যারোমিটারের পারদের উপরের দৈর্ঘ্য 8 সে. মি.; অর্থাৎ তখন নলে $8\times\alpha$ ঘন সে. মি. বায়ু আছে। আগের বায়ুই এখন ঐ আয়তনে আছে। সুতরাং এখন নলের ভিতরের বায়ুচাপ P_2 হইলে

বয়েলের নিয়মে $P_2\times V_2=P_1\times V_1$

$$\therefore \quad P_2\times8\times\alpha=3\times\alpha\times10$$

$$P_2=\frac{3\times10}{8}$$

$=3{\cdot}75$ সে. মি.।

অর্থাৎ, এখন ভুল ব্যারোমিটারের উপরের বায়ু 3·75 সে. মি. চাপ দিতেছে সুতরাং ঐ চাপ না থাকিলে পারদ এখন $74+3{\cdot}75=77{\cdot}75$ সে. মি. উঠিত।

অর্থাৎ, ঐ সময় বাহিরের বায়ুমণ্ডলের চাপ 77·75 সে. মি.।

প্রশ্ন

1. কঠিন, তরল ও বায়বীয় পদার্থের চাপ ও চাপ প্রয়োগের পার্থক্য ব্যাখ্যা কর।

(Explain in what way the pressure due to a solid, a liquid and a gas differs.)

2. বয়েলের সূত্র বিবৃত কর এবং উহার সত্যতা কিভাবে প্রমাণ করা যায় বর্ণনা কর।

(State Boyle's Law and explain how it can be verified.)

3. কোন পাত্রে নির্দিষ্ট উষ্ণতায় 76 সে. মি. চাপে 350 ঘন. সে. মি. বায়ু আবদ্ধ আছে। ঐ পাত্রের মধ্যে চাপ কমাইয়া 60 সে. মি. করিলে ঐ বায়ুর আয়তন কত হইবে ?

(In a vessel 350 c. c. of air is enclosed under a pressure of 76 c. m. What will be the volume if the pressure in the vessel be reduced to 60 c.m. ?)

[*Ans.* 443.33 c. c.]

4. একটি ব্যারোমিটারের মধ্যে পারদের উপরে একটু বায়ু আছে ফলে প্রমাণ চাপে ঐ ব্যারোমিটারে পারদ-স্তম্ভের উচ্চতা 73 সে. মি. হইয়াছে। ঐ ব্যারোমিটার নলপারদ-পাত্রের পারদ হইতে 80 সে. মি. উঁচু হইলে এই ভুল ব্যারোমিটারে যখন 75 সে. মি. চাপ দেখাইবে তখন প্রকৃত চাপ কত ?

(A barometer contains a little air above mercury, as a consequence, under normal pressure this barometer stands at 73 c.m. If the height of the barometer tube above the mercury level in the trough is 80 cm., what will be the actual pressure when this faulty barometer records 75 cm. ?) [*Ans.* 79·2 c. m.]

5. একটি বেলুনে 1000 ঘন সে. মি. গ্যাস 100 সে. মি. চাপে আবদ্ধ করা হইয়াছে। উহাকে একটি বেলজার দিয়া ঢাকিয়া বেলজারের কিছু বায়ু নিষ্কাশন করা হইল। তখন ইহার আয়তন হইল 1280 ঘন সে. মি.। ঐ সময়ে বেলুনের মধ্যস্থ বায়ুর চাপ কত হইবে ?

(A baloon contains 1000 c. c. of a gas under a pressure of 100 cm. It is covered by a bell jar and some air is exhausted from the jar. It was then found to occupy 1280 c.c. What was the pressure of the gas in the baloon ?) [*Ans.* 78·12 cm.]

Additional Numerical Problems

1. What is the atmospheric pressure in absolute units when the barometric height is 75 cm. ? [*Ans.* 1020 gms. wt. per sq. cm.]

2. What would be the height of a barometer filled with an oil of density ·8 gm. per c.c. when the atmospheric pressure is 75 cm. of mercury ? [*Ans.* 1275 cm.]

3. What will be the height of a glycerine barometer when the mercury barometer stands at a height of 76 cm. ? (sp. gr. of glycerine = 1·27) [*Ans.* 814 cm.]

4. What is the real pressure below 20 meters of sea water of sp. gr. 1·03 when the atmospheric pressure is 76 cm. ? [*Ans.* 3093·6 gms. wt./sq. cm.]

5. Calculate the pressure below 100 ft. of sea water of sp. gr. 1·025, when the barometric height is 29·5 inches. [*Ans.* 8494·83 lbs. wt./sq. ft.]

6. A cylinder is fitted with an air-tight piston and encloses 1080 c.c. of air at the atmospheric pressure. The piston is pushed slowly till its volume is reduced to 216 c.c. If the atmospheric pressure is 75 cm. of mercury, what will now be the pressure of the gas enclosed ? If the cylinder has an internal diameter of 8 cm. what will be the force with which the piston must now be pushed to keep equilibrium ? [*Ans.* 5·1 k. g. wt. per sq. cm. ; 256·45 k. g. wt.]

7. A gas is enclosed under a pressure of 3 atmospheres in a cylinder fitted with a piston. If the volume of the enclosed gas be 5 litres. to sart with, what will its volume be when the pressure has been reduced to 76 cm. of mercury only ? [*Ans.* 15 litres]

8. In a Boyle's Law apparatus, when the level of mercury is made the same in both the limbs, the length of the air column above the mercury level is 20 cm. When the reservoir is raised till the level difference between the mercury in the two limbs is 10 cm., by what amount will the level of mercury in the tube rise ? The barometer reading at the time of the experiment is 76 cm. [*Ans.* 2·33 cm.]

9. The area of cross-section of the tube containing air is 1·5 sq. cm. in a Boyle's Law apparatus. The tube contains 37·5 c.c. of air at atmospheric pressure

which is 76 cm. What will be the difference in the levels of mercury when the volume is reduced to (*i*) 25 c.c. or (*ii*) increased to 56·25 c.c. ?

[*Ans.* (*i*) 38 cm. ; (*ii*) 25·85 cm.]

10. A bubble of air is formed at the bottom of a lake 170 ft. deep. If the barometric height is 30 inches, how many times will its volume be bigger when it rises upto the surface ? [*Ans.* six times]

11. The density of air at N. T. P. is ·001293 gram per c.c. Find the mass of 10 litres of air at the same temperature but under a pressure of 20 atmospheres.

Ans. 258·6 grams]

12. A test tube 10 cm. long is inverted over mercury contained in a very long jar and held vertically. If the test tube could be forced vertically down into the mercury what would be the depth of the closed end of the test tube when mercury had risen upto 7 cm. within the test tube ? The barometric height is 75 cm.

[*Ans.* 172 cm.]

13. A faulty barometer has a length of 12 cm. above the mercury column which stands at a height of 70 cm. when the true barometric height is 75 cm. what would be the volume of the air enclosed, if measured at the atmospheric pressure ? The cross-section of the barometric tube is 1·5 sq. cm. [*Ans.* 1·2 c.c.]

14. In the example no. 13, if the faulty barometer reads 70·5 cm. what would be the actual atmospheric pressure ? [*Ans.* $75\frac{23}{48}$ cm.].

15. A faulty barometer has a length of 10 cm. above the mercury column which stands at a height of 73·4 cm. When the true barometric height is 75 cm. What would be the reading of the faulty barometer, when the true barometer reads 77·4 cm. ? [*Ans.* 75·4 cm.]

[**Hints** : Enclosed air of vol. 10α (α = cross-section of the tube) gives a pressure of 1·6 cm.

$$10\alpha \times 1{\cdot}6 = V_1P_1$$

Let $73{\cdot}4 + x$ be the reading of the faulty barometer when the pressure is 77·4 cm.

Then enclosed volume of air is $(10-x)\alpha$ and its pressure

$$77{\cdot}4 - (73{\cdot}4 + x) = (4 - x) \text{ cm.}$$

$$\therefore \quad (10-x)\alpha \times (4-x) = V_2P_2$$

Equating P_1V_1 to V_2P_2 and solving for x we have $x = 2$ cm. ($x = 12$ being inadmissible). Hence the answer.]

Public Examination Questions

1. Explain the meaning of the statement that the atmospheric pressure at a place is 760 m.m. of mercury. Calculate its value in the C.G.S. units (Density of mercury = 13·6 gm./c.c.) [*Ans.* $1{\cdot}014 \times 10^6$ dynes/sq. c,m.]

• Describe the construction of a simple mercury barometer.

A bubble of air is introduced into the space above the mercury of a good barometer 1 sq. cm. in cross-section and the mercury column falls from 75 cm. to 65 cm. If the space above mercury before introduction of air was 6 cm. long, calculate the volume which the introduced air will occupy at normal atmospheric pressure. [*Ans.* $2\frac{2}{19}$ c.c.] [H. S. 1961]

2. What is Torricelli's vacuum ? Is it strictly speaking a vacuum ?

State giving reasons what happens in the following cases.

(*a*) A glass tube 50 inches long, closed at one end, is entirely filled with mercury and inverted vertically over a trough of mercury.

(*b*) The tube is inclined to the vertical.

(*c*) The tube is replaced by one with a wider bore.

The volume of a bubble of air is doubled in rising from a depth of h metres in a sea, to the surface. If the barometric height be 750 m.m. and the relative density of mercury and sea water are respectively 13·58 and 1·05, calculate h.

[*Ans.* 9·7 metres] [H. S. 1961]

3. Explain the action of a siphon. State its use.

What conditions must be fulfilled for the working of a siphon ?

It is required to siphon kerosine (sp. gr. = 0·8) over an obstacle. What must be the limiting height of the obstacle which will render the siphoning just possible ? (Atmospheric pressure = 30 inches of mercury) [H. S. comp. 1960]

[*Ans.* 42·5 ft.]

4. State Boyle's Law and describe how you would verify it for pressures greater than one atmosphere. Give a sectional diagram of the apparatus you would use. When the barometer stands at 75 cm., a quantity of air, 10 c.c. in volume at the atmospheric pressure, is introduced into the vacuum of the barometer. The mercury immediately falls to 25 cm. What volume does the air occupy inside the barometer tube ? [H. S. comp. 1961] [*Ans.* 15 c.c.]

5. How would you set up a simple experiment to prove that air exerts pressure ?

How is the atmospheric pressure generally measured ?

Calculate the height of the glycerine barometer when that of water barometer is 32 ft. (sp. gr. of glycerine = 1·25). [*Ans.* 25·6 ft.] [H. S. 1962]

6. Describe an experiment showing that Archimedes' principle applies to bodies immersed in a gas.

Criticise the following statements :

(*a*) A pound of feather weighs less than a pound of lead.

(*b*) A flexible bladder inflated with air is balanced by a set of weights on a common balance. When deflated, it is found to be balanced by the same set of weights. Hence the air in the inflated bladder had no weight. [C. U. I. Sc. 1944]

7. Describe the Fortin's form of barometer and indicate the adjustments necessary to determine the height of the mercury column. [C. U. I. Sc. 1945]

তৃতীয় পাঠ

4.3. পাম্প ঃ

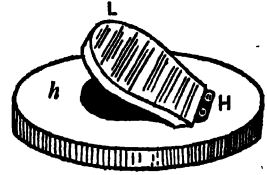
বাহির হইতে চাপ প্রয়োগ করিয়া অথবা চাপ কমাইয়া কোন পাত্রে তরল অথবা বায়বীয় পদার্থ প্রবেশ করানো অথবা কোন পাত্র হইতে তরল বা বায়বীয় পদার্থ নিষ্কাশন করিবার জন্য যে সকল যন্ত্র ব্যবহার করা হয়, সেইগুলির সাধারণ নাম পাম্প।

এক কথায় বলা যায় যে, বেশী চাপ যুক্ত স্থান হইতে কম চাপ যুক্ত স্থানে গ্যাস বা তরলকে চালনা করাই পাম্পের কাজ।

এখানে যে সকল পাম্পের কথা বলা হইয়াছে সেইগুলির তিনটি প্রধান অংশ থাকে ; যথা—(1) ব্যারেল, (2) পিস্টন এবং (3) ভাল্‌ভ।

ব্যারেল একটি উপযুক্ত মাপের এবং শক্ত গড়নের চোঙ বিশেষ। ইহার ভিতরের দিকের বক্রতল অত্যন্ত মসৃণ এবং ইহার সহিত উপযুক্ত স্থানে পার্শ্বনল সংযুক্ত থাকে।

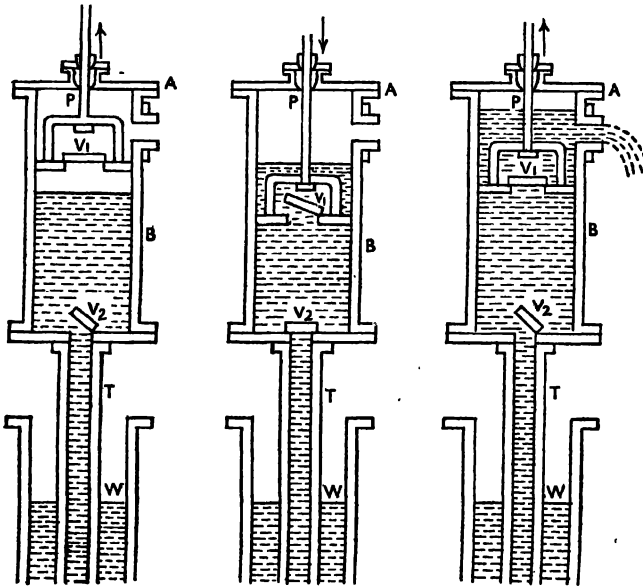
পিস্টন একটি শক্ত দণ্ডের সহিত সংযুক্ত সিলিণ্ডারের আকৃতির অংশ ; ইহাকে আবশ্যকমত চামড়া দিয়া ঘিরিয়া ব্যারেলের মধ্যে বায়ু-নিরুদ্ধ অবস্থায় চলাচল করিবার ব্যবস্থায় রাখা হয়।

পাম্পের একপ্রকার ভাল্‌ভ
h—ছিদ্র, H—কব্জা, L—কপাট

ভাল্‌ভ বা কপাটিকা নানা কৌশলে প্রস্তুত হয় ; কিন্তু মূলত প্রত্যেক কপাটিকায় একটি ছিদ্র থাকে এবং উহার উপর একটি ঢাক্‌নি থাকে। ঢাক্‌নিটি একদিক হইতে চাপ দিলে খোলে কিন্তু বিপরীত দিক হইতে চাপ দিলে বন্ধ হইয়া থাকে। পিস্টন অথবা ব্যারেলের সহিত, অথবা উভয়ের সঙ্গে ভাল্‌ভ সংযুক্ত থাকে।

4.31. সাধারণ পাম্প বা শোষক পাম্প (Common pump or Suction pump) ঃ

ইহা দ্বারা সাধারণত জল পাম্প করিয়া তোলা হয়। ইহার ব্যারেল Bর নীচের দিকে একটি ভাল্‌ভ V_2 এবং পিস্টন Pর সহিত সংযুক্ত আর একটি ভাল্‌ভ V_1 যুক্ত থাকে। উভয় ভাল্‌ভই উপর দিকে খুলিতে পারে।

এই পাম্প দ্বারা কোন কূয়া বা পুকুর হইতে জল পাম্প করিয়া তোলা হয়। ইহার কার্যপ্রণালী বুঝাইবার জন্য পরপর তিনটি ছবি দেওয়া হইল।

(i) পিস্টন ব্যারেলের একেবারে তলা হইতে উপর দিকে তোলা হইতেছে। ঐ সময়ে বায়ুর চাপে V_1 ভাল্‌ভ বন্ধ থাকিবে এবং V_2 ও V_1 এর মধ্যস্থ স্থান শূন্য হওয়ায় নীচ হইতে বায়ুমণ্ডলের বায়ুর চাপে জল উপরে উঠিবে।

(i) (ii) (iii)

শোষক পাম্প

(i) পিস্টন উপরে উঠিতেছে ; V_1 বন্ধ V_2 খোলা

(ii) পিস্টন নীচে নামিতেছে ; V_1 খোলা V_2 বন্ধ

(iii) পিস্টন উপরে উঠিতেছে ; V_1 বন্ধ V_2 খোলা

(ii) পিস্টন উপরের শেষ সীমায় তুলিয়া যখন আবার নামানো হইতেছে তখন জলের চাপে V_2 ভাল্‌ভ বন্ধ থাকিবে কিন্তু V_1 ভাল্‌ভ খুলিয়া পিস্টনের উপর জল চলিয়া যাইবে।

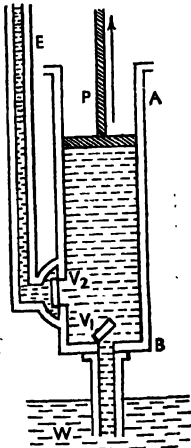
(iii) পরে যখন আবার পিস্টন উপর দিকে তোলা হইবে তখন পিস্টনের উপরের জল পার্শ্বনল হইতে পড়িতে থাকিবে। নীচের W জলাধারের জল বায়ুমণ্ডলের বায়ুর চাপে V_2 ভাল্‌ভকে খুলিয়া V_1 এবং V_2 ভাল্‌ভের মধ্যস্থানে উঠিয়া আসিবে।

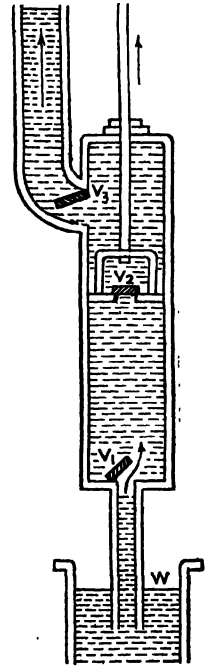
ইহার পর (ii) এবং (iii) চিত্রের ন্যায় বারম্বার ক্রমান্বয়ে কাজ চলিতে থাকিবে অর্থাৎ পিস্টনকে উপরদিকে তুলিবার সময়ে জল পাড়বে, কিন্তু নীচের দিকে নামাইবার সময় জল পড়িবে না।

নীচের জলের আধার হইতে বায়ুমণ্ডলের বায়ুর চাপে ব্যারেলে জল উঠে। সুতরাং জল দ্বারা তৈয়ারী ব্যারোমিটারের উচ্চতা যত, অর্থাৎ 34 ফুটের বেশী উঁচুতে এই পাম্প দ্বারা জল তোলা যায় না।

4.32 লিফ্‌ট পাম্প এবং ফোর্স পাম্প ঃ

জল যে কোন উচ্চতায় তুলিতে হইলে লিফ্‌ট পাম্প বা ফোর্স পাম্প ব্যবহার করিতে হয়।

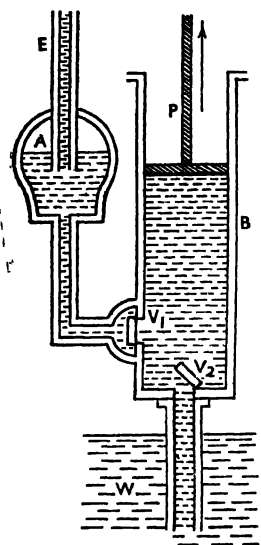
সাক্‌শন পাম্পের সহিত **লিফ্‌ট পাম্পের** পার্থক্য এই যে, ইহার ব্যারেলের সঙ্গের পার্শ্বনলের মুখে একটি অতিরিক্ত ভাল্‌ভ V_3 আছে। সাক্‌শন পাম্পের ন্যায় ইহার ব্যারেল জলপূর্ণ হওয়ার পর পিস্টন যখন উপরের দিকে তোলা হয় তখন V_3 ভাল্‌ভটি খুলিয়া জল পার্শ্বনলের মধ্যে প্রবেশ করে। সুতরাং পিস্টনকে খুব জোরে তুলিতে পারিলে V_3 ভাল্‌ভ ঠেলিয়া জল পার্শ্বনলে উঠিবে। পার্শ্বনল দ্বারা জল যত উপরে তুলিতে হইবে ততই V_3 ভাল্‌ভের পক্ষে পার্শ্বনলের মুখ আটকাইয়া রাখিবার ক্ষমতা বেশী হওয়া চাই এবং পিস্টনকে উপরে তুলিবার সময় পার্শ্বনলে জলের স্তম্ভের যে উচ্চতা হইবে তাহার মোট চাপ অপেক্ষা বেশী জোরে পিষ্টনকে তুলিতে পারা চাই।

লিফ্‌ট পাম্প

ফোর্সপাম্পের পিস্টনে কোন ভাল্‌ভ থাকে না, ব্যারেলের পার্শ্বনলে V_2 ভাল্‌ভ পার্শ্বনলের মধ্যে খোলে। পিস্টনকে নীচের দিকে চাপ দিবার কালে V_2 ভাল্‌ভ খুলিয়া জল পার্শ্বনলের মধ্যে প্রবেশ করে। পিস্টন উপরে তোলা অপেক্ষা নীচের দিকে চাপা দেওয়া সুবিধাজনক বলিয়া লিফ্‌ট পাম্প অপেক্ষা ইহার ব্যবহার বেশী।

ফোর্স পাম্প

যে তিন প্রকার পাম্পের কথা বলা হইল, উহাদের প্রত্যেকটির ব্যারেলের উচ্চতা জলের আধারের জলের লেভেল হইতে 34 ফুটের কম হওয়া আবশ্যক। কারণ, ব্যারেলে জল উঠিবার জন্য বায়ুমণ্ডলের চাপই দায়ী।

4.33. অবিরাম পাম্প ঃ

পূর্বে বর্ণিত প্রত্যেক প্রকার পাম্পে হয় পিস্টনকে উপরে তুলিবার সময় নতুবা নীচে নামাইবার সময় পার্শ্বনল হইতে জল পড়িবে। সেই কারণে ঐ পাম্প হইতে অবিরাম জল পড়ে না।

অবিরাম জল পড়িবার জন্য ফায়ার ব্রিগেডের ইঞ্জিন প্রভৃতিতে দুইটি ফোর্স পাম্প একসঙ্গে চালানো হয়। ঐগুলি চালাইবার ব্যবস্থা এমন যে, একটাতে যখন পিস্টন উপর দিকে চলে তখন অপরটিতে পিস্টন নীচের দিকে চলিবে। সুতরাং পার্শ্বনল হইতে সব সময়েই জল পড়িবে।

অবিরাম ফোর্স-পাম্প ; A স্থানে বায়ু আছে

একটা ফোর্স পাম্প ব্যবহার করিয়াও অবিরাম জল নির্গত করা সম্ভবপর। ইহার জন্য ফোর্স পাম্পের পার্শ্বনলের সঙ্গে একটি বায়ু-প্রকোষ্ঠ সংযুক্ত থাকে। চিত্রে তাহা দেখানো হইল। পিস্টন নীচের দিকে নামিবার কালে পার্শ্বনলে নির্গত জলের চাপে জল যথারীতি উপরে উঠিয়া যায়, অধিকন্তু ঐ প্রকোষ্ঠের আবদ্ধ বায়ুতে চাপ পড়ে। পিস্টন উপরে তুলিতে যে সময় লাগে ঐ সময়ে ঐ পাত্রের মধ্যস্থ বায়ুর চাপে জল উপরে উঠিতে থাকে। সুতরাং পাম্প তাড়াতাড়ি চালাইলে ইহা দ্বারা উপরে অবিরাম জল উঠে।

4.34. সাইফন (Siphon) ঃ

একটি U আকৃতি নলের এক প্রান্ত বেঁটে অপর প্রান্ত লম্বা। কোন উচ্চ স্থানে রক্ষিত পাত্র হইতে নিম্নে কোন পাত্রে কোন তরল পদার্থ সহজে স্থানান্তরিত করিবার কাজে উহার ব্যবহার হইয়া থাকে। নলটিকে সর্বপ্রথমে ঐ তরল পদার্থ দ্বারা সম্পূর্ণরূপে ভরিয়া লইতে হইবে, পরে ইহার দুই খোলা প্রান্ত আঙুল দ্বারা চাপিয়া রাখিয়া বেঁটে অংশটির মুখ উপরের পাত্রের তরলে এবং লম্বা অংশটির মুখ নীচের পাত্রে রাখিয়া আঙুল ছাড়িয়া দিলে উপরের পাত্র হইতে তরল পদার্থ উঠিয়া নীচের পাত্রে যাইতে থাকিবে।

মনে কর বায়ুমণ্ডলের বায়ুচাপের পরিমাণ প্রতি বর্গ সেন্টিমিটারে P গ্র্যাম-ভার ; এবং ঐ তরল দ্বারা পার্শ্বের ব্যারোমিটারটি নির্মিত হইয়াছে। তরল দ্বারা ব্যারো-

মিটার নির্মাণ করিলে ঐ নলের মধ্যস্থ তরলের মধ্যে যত উপরের বিন্দুতে P অথবা R প্রভৃতিতে যাওয়া যায় ততই চাপ কমিতে থাকে এবং ব্যারোমিটারের মধ্যস্থ তরলের একেবারে উপরের তলে S বিন্দুতে কোন চাপই থাকে না।

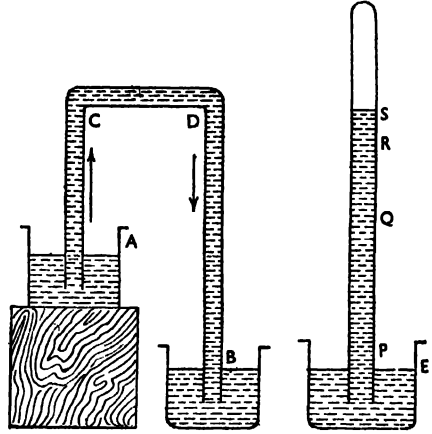
সাইফন ও ব্যারোমিটার

সুতরাং চিত্রের A পাত্রের তরলের সমতলে চাপ P হইলে নলের মধ্যে C বিন্দুতে চাপ হইবে

$P-h_1\rho g$; তরলের ঘনত্ব ρ.

সেইরূপ, যেহেতু B পাত্রের তরলের সমতলে চাপ P, D বিন্দুতে চাপ হইবে

$P-h_2\rho g$.

কিন্তু $h_2>h_1$ $\therefore P-h_1\rho g>P-h_2\rho g$ অর্থাৎ C বিন্দুতে তরলের চাপ D বিন্দু অপেক্ষা অধিক। সুতরাং C ও D বিন্দুর মধ্যে তরল স্থির থাকিতে পারিবে না—বেশী চাপযুক্ত স্থান C হইতে অল্প চাপযুক্ত স্থান D-র দিকে ধাবিত হইবে। C বিন্দু হইতে তরল সরিয়া যাওয়ার সঙ্গে সঙ্গে বাহিরের বায়ুচাপে AC নলে ক্রমাগত তরল পদার্থ উঠিতে থাকিবে।

উপরের আলোচনা হইতে বুঝা যাইবে যে, কোন সাইফন ঠিক মত কাজ করিতে হইলে নিম্নলিখিত শর্তগুলি বজায় থাকা আবশ্যক।

(1) সাইফনের বাঁকানো অংশের দুই দিকের নলের দৈর্ঘ্য অসমান হইবে—

(2) যে পাত্রের তরল আংশিক বা সম্পূর্ণরূপে খালি করিতে হইবে সেই পাত্রের তরলের সমতল সর্বদা অন্য পাত্রের তরলের সমতল অপেক্ষা উঁচুতে থাকিবে।

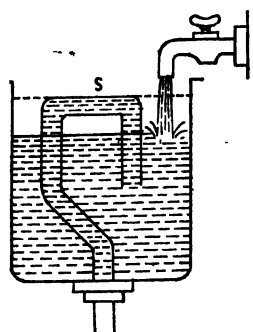
(3) বেঁটে নলটি উপরের পাত্রে ডুবাইতে হইবে।

(4) বেঁটে নলটির দৈর্ঘ্য ঐ তরল পদার্থ দ্বারা গঠিত ব্যারোমিটার অপেক্ষা কম হইবে।

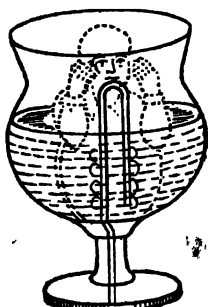
(5) সাইফনটি সর্বপ্রথমে তরল দ্বারা সম্পূর্ণরূপে ভরিয়া লইতে হইবে।

(6) শূন্য স্থানে সাইফন কাজ করে না।

সাইফনের ব্যবহার—(1) বড় বড় শহরে রাস্তায় যে সাধারণের প্রস্রাবের স্থান থাকে অথবা সাধারণের পায়খানা থাকে তাহার উপরে জলের ট্যাঙ্কে সাইফন বসানো থাকে। কল হইতে ট্যাঙ্কে জল পড়িয়া যখন ট্যাঙ্কের জলের লেভেল উপরে উঠে

তখন বেঁটে নলেও জল উঠিতে থাকে। বেঁটে নল জলপূর্ণ হইলে ঐ জল লম্বা নল দিয়া বাহির হইয়া যাইবার কালে ঐ নলের বায়ু নির্গত হইয়া যায় এবং সাইফন সম্পূর্ণরূপে জলে ভরিয়া যায়। তখন সাইফনের কাজ আরম্ভ হয় এবং বেঁটে নলের নীচের লেভেল পর্যন্ত ট্যাঙ্কের সব জল বাহির হইয়া যায়। পরে আবার ট্যাঙ্কে জলের লেভেল আগের মত উঠিলে আবার জল নির্গত হয়।

ফ্লাশ ট্যাঙ্ক

(2) সাইফনের সাহায্যে **'টেণ্টেলাস কাপ'** (**Tentalus cup**) নামক পুতুল তৈয়ারী করা হয়। একটি কাঁচের বাটীতে একটি সাইফন বসানো থাকে। উহার লম্বা নলটি বাটির নীচের স্ট্যাণ্ডের ভিতর দিয়া বাহিরে চলিয়া আসে।

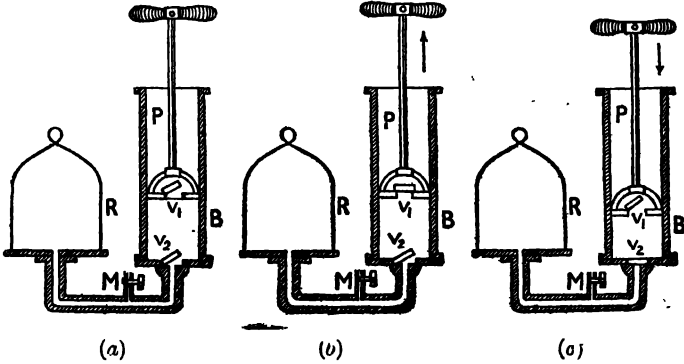
ঐ সাইফনকে ঢাকিয়া একটি পুতুল (রাজা টেণ্টেলাস) বসানো থাকে, সাইফনের বাঁকানো অংশ যে উচ্চতায় থাকে পুতুলের নীচের ঠোঁটের লেভেলও সেই উচ্চতায় থাকে। বাটিতে জল ঢালিলে জল পুতুলের ঠোঁটের নীচে আসিলেই সাইফন সক্রিয় হয় এবং জল বাহির হইয়া যায়। সুতরাং রাজা টেণ্টেলাসের ঠোঁটের নিকটে জল আসিলেও টেণ্টেলাস তাহা পান করিতে পারেন না,—ইহাই তাঁহার অভিশাপ ছিল।*

টেণ্টেলাস কাপ

4.35. বায়ু নিষ্কাশন যন্ত্র (Air Pump) ঃ

একটি সাধারণ বায়ু নিষ্কাশন যন্ত্রের বা বাতপাম্পের প্রধান অংশ একটি ব্যারেল B ; উহা একটি নলের সাহায্যে যে পাত্র বায়ুশূন্য করিতে হইবে তাহাতে সংযুক্ত করা হয়। চিত্রে ঐ পাত্রকে R চিহ্নিত করা হইয়াছে। উহাকে রিসিভার বলা হয়। নলটির মধ্যে একটি স্টপ-কক বা চাবি আছে। একটি পার্শ্বনল M কে ইচ্ছা করিলে বায়ুচাপের পরিজ্ঞাপক কোন যন্ত্রের সহিত সংযুক্ত করা যায়।

ব্যারেলটির নীচে একটি ভাল্‌ভ বা কপাট V_2 আছে এবং একটি পিস্টন P আছে। পিস্টনটি ব্যারেলের পাত্রে বায়ু-নিরুদ্ধ অবস্থায় লাগিয়া উঠানামা করে। পিস্টনের মধ্যে আর একটি ভাল্‌ভ V_1 আছে ; V_1 এবং V_2 উপর দিকে খোলে। (*a*)

* টেণ্টেলাস জুপিটারের পুত্র ; পিতার গোপন কথা প্রকাশের জন্য তিনি অভিশপ্ত হইয়াছিলেন।

যন্ত্রটি চালাইবার প্রথম অবস্থায় মনে কর পিস্টনটি যেন ব্যারেলের একেবারে নীচে আছে। এখন পিস্টনটি উপরের দিকে উঠাইলে V_1 ও V_2 ভাল্‌ভের মধ্যবর্তী স্থান প্রায় বায়ুশূন্য হইবে ; সুতরাং R পাত্রের বায়ুচাপের ফলে V_2 ভাল্‌ভ খুলিয়া যাইবে এবং R পাত্র হইতে বায়ু আসিয়া ব্যারেল পূর্ণ করিবে। ব্যারেলের মধ্যস্থ বায়ুর চাপ

বাতপাম্প বা বায়ু-নিষ্কাশন যন্ত্র

(a) V_1 এবং V_2 ভাল্‌ভগুলি উপর দিকে খুলিতে পারে, কিন্তু একসঙ্গে ঐ দুই ভাল্‌ভ খোলা থাকে না

বায়ুমণ্ডলের বায়ুচাপ অপেক্ষা কম হইবে, সুতরাং পিস্টন উপরে তুলিবার সময় V_1 ভাল্‌ভ বন্ধ থাকিবে চিত্র নং (*b*)।

পিস্টন যথাসম্ভব উপরে তুলিয়া যখন উহাকে নামানো হইবে তখন ব্যারেলের মধ্যস্থ বায়ুচাপ বাড়িবে, ফলে V_2 ভাল্‌ভ বন্ধ থাকিবে এবং V_1 ভাল্‌ভ খুলিয়া ব্যারেলের বায়ু বাহির হইয়া যাইবে চিত্র নং (*c*)।

বার বার ঐরূপ করিলে R পাত্র হইতে বায়ু বাহির হইয়া পাত্র মোটামুটি বায়ুশূন্য হইবে। কিন্তু R-এর মধ্যস্থ বায়ুর চাপ কমিয়া ক্রমে ক্রমে যখন এমন হইবে যে ঐ চাপ ব্যারেলের নীচের ভাল্‌ভ V_2-কে আর ঠেলিয়া উপরে উঠাইতে পারিবে না, তখন পিস্টনকে আরও অনেকবার উঠানামা করিলেও কোন ফল হইবে না ; অর্থাৎ, ইহার পর R পাত্রকে আর বায়ুশূন্য করা চলিবে না।

রিসিভারের মধ্যস্থ বায়ুচাপের হিসাব—মনে কর, রিসিভার এবং রিসিভার ও ব্যারেল সংযোজক নলের মোট আয়তন V, ব্যারেল B-র আয়তন v.

প্রথম অবস্থায় রিসিভারের মধ্যে বায়ুমণ্ডলের চাপে বায়ু আবদ্ধ হইবে। মনে কর ঐ চাপ P_0.

ধরা যাউক ব্যারেলের পিস্টন একেবারে তলা হইতে উপরে তোলা হইল ; তখন V_2 ভাল্‌ভ খুলিয়া রিসিভার হইতে বায়ু আসিয়া উহাতে ঢুকিল। ফলে যে ভরের

বায়ু P_0 চাপে V আয়তন দখল করিয়াছিল, এখন সেই ভরের বায়ুই $V+v$ আয়তন দখল করিবে। এখন যদি ঐ বায়ুর চাপ P_1 হয়, তবে বয়েলের নিয়ম অনুযায়ী

$$P_1(V+v)=P_0V$$

$$\therefore \quad P_1=\frac{V}{V+v}.P_0$$

প্রথম বার ব্যারেলের পিস্টন উঠানামা করার পর, অর্থাৎ প্রথম ষ্ট্রোকের (Stroke) পর, রিসিভারে P_1 চাপে V আয়তনের বায়ু থাকিবে এবং দ্বিতীয় বার পিস্টন উপরে উঠাইলেই ঐ বায়ু $(V+v)$ স্থান দখল করিবে। যদি দ্বিতীয় ষ্ট্রোকের পর P_2 চাপ হয় তবে

$$P_2(V+v)=P_1V$$

$$\therefore \quad P_2=\frac{V}{V+v}\cdot P_1=\left(\frac{V}{V+v}\right)^2P_0$$

এইভাবে চলিলে n-তম ষ্ট্রোকের পর রিসিভারের বায়ুর চাপ হইবে

$$P_n=\left(\frac{V}{V+v}\right)^nP_0.$$

$\frac{V}{V+v}$ ভগ্নাংশটির মান 1-এর চেয়ে কম হইবে। সুতরাং n যত বেশী হইবে P_n তত কম হইবে এবং n খুবই বেশী হইলে P_n প্রায় 0 হইবে।

কিন্তু রিসিভারের বায়ুর চাপে V_2 ভাল্‌ভ উপরে না উঠিলে ষ্ট্রোক বাড়াইয়া লাভ হইবে না।

যেহেতু চাপ ঘনত্বের সমানুপাতিক $\therefore$ n-ষ্ট্রোকের পর ঘনত্ব

$$\rho_n=\left(\frac{V}{V+v}\right)^n\rho_0$$

অঙ্ক—একটি এয়ার পাম্পের ব্যারেলের আয়তন রিসিভারের আয়তনের তুলনায় তিনগুণ। কত ষ্ট্রোকের পর রিসিভারের বায়ুর চাপ আগের তুলনায় $\frac{1}{256}$ হইবে ?

$$P_n=\left(\frac{V}{V+v}\right)^nP_0$$

$$\text{এস্থলে} \quad \frac{P_n}{P_0}=\frac{1}{256}$$

$$\therefore \quad \left(\frac{V}{V+v}\right)^n=\frac{1}{256}$$

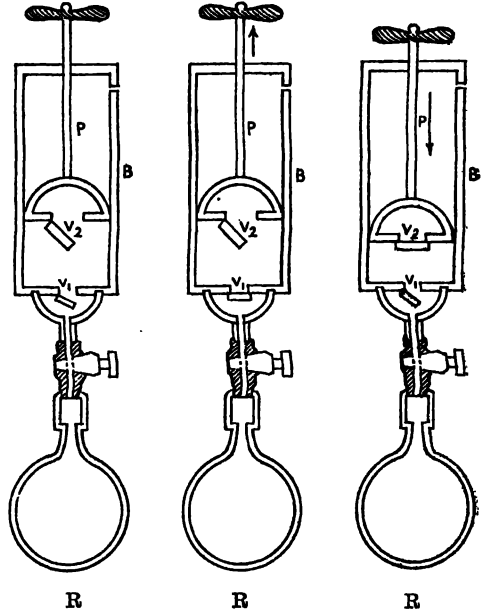
$$V+v=V+3V, \quad \therefore \quad \left(\frac{V}{V+v}\right)^n=\left(\frac{1}{4}\right)^n$$

$$\therefore \quad \frac{1}{256}=\left(\frac{1}{4}\right)^4$$

$$\therefore \quad n=4.$$

4.36. বায়ুসংনমন যন্ত্র (Condensing Pump) ঃ

এই কনডেনসিং পাম্পের সাহায্যে কোন পাত্রে বেশী চাপে বায়ু প্রবিষ্ট করানো হয়।

ইহাতে একটি ব্যারেল B এবং বায়ু-নিরুদ্ধ পিস্টন P আছে। ব্যারেলের নীচে V_1 এবং পিস্টনের সঙ্গে V_2 ভাল্‌ভ আছে। ব্যারেলের ভাল্‌ভের পর একটি সরু নল আছে ; উহার শেষ প্রান্ত যে পাত্রে বায়ু প্রবেশ করাইতে হইবে সেই R পাত্রের সহিত যুক্ত করা হয়। R পাত্রে একটি স্টপ-ককও লাগানো থাকে। ব্যারেলের উপর দিকে একটি ছিদ্র থাকে, ঐ ছিদ্রপথে বাহিরের বায়ু ব্যারেলে প্রবেশ করিতে পারে। স্টপ-কক খুলিয়া পাম্প চালাইতে হয়।

V_1 এবং V_2 ভাল্‌ভগুলি উপর দিকে খুলিতে পারে কিন্তু এক সঙ্গে কখনও ঐ দুই ভাল্‌ভ খুলিয়া থাকে না।

মনে কর, কাজ আরম্ভ করিবার প্রথম অবস্থায় পিস্টনটি যেন ব্যারেলের উপরের ছিদ্রের নিকটে আছে (ডান দিকের চিত্র)। পিস্টনকে রিসিভার R-এর দিকে ঠেলিয়া দিলে পিস্টন এবং রিসিভারের মধ্যস্থ বায়ু সংকুচিত হয় এবং চাপ বাড়ে, ফলে V_2 ভাল্‌ভ বন্ধ হইয়া যায় এবং V_1 ভাল্‌ভ খুলিয়া বায়ু R পাত্রে প্রবেশ করে। পিস্টনটিকে এখন বাহিরের দিকে টানিয়া আনিলে (মাঝের চিত্র) ভাল্‌ভ V_1 এবং V_2-র মধ্যস্থ বায়ুশূন্য হইতে থাকে সুতরাং R পাত্রের মধ্যস্থ বায়ুচাপে V_1 ভাল্‌ভ বন্ধ হইয়া যায় ; কিন্তু ব্যারেলের ছিদ্রের সঙ্গে সংযুক্ত বায়ুমণ্ডলের বায়ুচাপে V_2 ভাল্‌ভ খুলিয়া V_2 এবং V_1 ভাল্‌ভ দুইটির মধ্যস্থানে বায়ু প্রবেশ করে। আবার পিস্টন ভিতরের দিকে ঠেলিয়া দিলে পূর্বের ন্যায় V_1 ভাল্‌ভ খুলিয়া বায়ু রিসিভারে প্রবেশ করে। বার বার এইরূপ করিলে R পাত্রে বেশী চাপে বায়ু আবদ্ধ হয়। তখন স্টপ-কক বন্ধ করিয়া পাত্রের মুখ বায়ু-নিরুদ্ধ করিয়া পাত্র সরাইয়া লইতে হয়।

পাত্রের পুরু গঠন ও জোরাল ভাল্‌ভ থাকিলে R পাত্রের মধ্যস্থ বায়ুর চাপ খুব বাড়ানো চলে।

রিসিভারের মধ্যের বায়ুচাপের হিসাব—মনে কর, রিসিভারের আয়তন V এবং ব্যারেলের আয়তন v.

প্রথমে রিসিভারে বায়ুমণ্ডলের চাপে আবদ্ধ বায়ু আছে মনে কর। ঐ বায়ুর ঘনত্ব ρ_0 মনে কর। $\therefore$ উহাতে যে বায়ু আছে তাহার ভর $V\rho_0$। একবার পিস্টনকে রিসিভারের দিকে ঠেলিয়া উহার বায়ু রিসিভারে ঢুকাইলে $v\rho_0$ ভরের বায়ু উহাতে আসিবে। $\therefore$ এক ষ্ট্রোকের পর রিসিভারে $V\rho_0+v\rho_0$ বায়ু থাকিবে; দুই ষ্ট্রোকের পর বায়ুর পরিমাণ হইবে $V\rho_0+2v\rho_0$ ইত্যাদি। সুতরাং n ষ্ট্রোকের পর $(V\rho_0+nv\rho_0)$ বায়ু রিসিভারে আবদ্ধ হইবে। কিন্তু রিসিভারের আয়তন V,

$\therefore$ n ষ্ট্রোকের পর ঐ বায়ুর ঘনত্ব হইবে

$$\rho_n=\frac{V+nv}{V}\rho_0$$

$$\rho_n=\left(1+\frac{nv}{V}\right)\rho_0$$

তখন রিসিভারের বায়ুর চাপ হইবে

$$P_n=\left(1+\frac{nv}{V}\right)P_0$$

কারণ, নির্দিষ্ট উষ্ণতায় চাপ ঘনত্বের সমানুপাতিক।

প্রশ্ন

1. পাম্পের সাধারণ কাজ কি? সাধারণ পাম্পের প্রধান অংশগুলি কি কি?

(What is the general function of a pump? What are the parts of a common pump?)

2. একটি শোষক পাম্প (suction pump) ও একটি ফোর্স পাম্পের চিত্র আঁকিয়া কাজ ব্যাখ্যা কর।

(Draw diagrams and explain the functions of a suction pump and a force pump.)

3. একটি বাতপাম্পের (air pump) চিত্র আঁকিয়া উহার কাজ ব্যাখ্যা কর। ঐ পাম্প দ্বারা কি রিসিভারকে একেবারে বায়ুশূন্য করা যায়?

একটি বাতপাম্পের ব্যারেলের আয়তন রিসিভারের তুলনায় $\frac{1}{2}$ অংশ। প্রথম তিনটি ষ্ট্রোকের পর রিসিভারে যে চাপ হইবে তাহা বায়ুচাপের তুলনায় কি অনুপাতে কম হইবে?

(Draw a diagram of an air pump and explain its action. Can the receiver be completely evacuated by it ?

The volume of the barrel of an air pump is ¼ that of the receiver. What will be the ratio of the pressure in it after 8 strokes, to the atmospheric pressure.)

[*Ans.* 64 ; 125]

4. একটি বায়ু সংনমন পাম্পের (condensing pump) চিত্র আঁকিয়া উহার কাজ ব্যাখ্যা কর।

একটি বায়ু সংনমন পাম্পের ব্যারেলের আয়তন রিসিভারের তুলনায় অর্ধেক। দশটি ষ্ট্রোকের পর উহার মধ্যস্থ বায়ুচাপ বায়ুমণ্ডলের চাপের কত গুণ হইবে ?

(Describe and explain the action of a compression pump giving a neat diagram.

The volume of the barrel of a compression pump is ½ that of the receiver. What will be the ratio of pressure inside the receiver and the atmospheric pressure after 10 strokes ?)

[*Ans.* 8 : 1]

Additional Numerical Problems

1. An exhaust pump has a barrel whose volume is 3 litres while the volume of the receiver is 12 litres. Find the pressure within the receiver after 3 strokes, the initial pressure in the receiver was 75 cm. [*Ans.* 38·4 cm.]

2. Find the ratio of the volume of the receiver to that of the barrel in the air pump such that the pressure within the receiver may become 1 cm. after 8 strokes, the initial pressure of air in the receiver being 81 cm. [*Ans.* 1 : 2]

3. If in the preceeding example, the ratio were just the opposite what would have been the pressure after 3 strokes ? [*Ans.* 24 cm.]

4. Find the density of air in the receiver of an air pump if its volume is 4 times that of the barrel, after 4 strokes, starting with a density of ·0013 gm. per c.c. at the atmospheric pressure. [*Ans.* ·00053 gm./c.c.]

5. The receiver of a condensing pump has a volume of 12 litres while that of the barrel has a volume of 1 litre. What will be the pressure in the receiver after 36 strokes, the original pressure in the receiver being atmospheric pressure.

[*Ans.* 4 atmospheres]

6. The volume of a barrel of a condensing pump is 5 times that of the receiver ; find how many strokes are necessary to increase the pressure in the ratio 1 : 16.

[*Ans.* 3]

7. The ratio of the volume of the barrel to the receiver of a condensing pump is 1 : 18. How many strokes are necessary to double the pressure ? [*Ans.* 18]

Public Examination Questions

1. Describe an air pump and explain its action.

Or

State Boyle's Law and describe an experimental arrangement for verifying it for pressures less than one atmosphere. [C. U. I. Sc. 1947]

2. Describe a siphon and explain the principle of its action. State the conditions for its working. For what purpose is the siphon used. [C.U. I. Sc. 1946]

3. Describe with a neat diagram a condensing pump and explain its mode of action. How does it differ in construction from a suction pump ?

Find out an expression to show the degree of compression in a condensing pump after n strokes. [C. U. I. Sc. 1958]

Samples of Questions for Informal Objective Test.

সাধারণ পদার্থবিদ্যা

1. Recall type.

নির্দেশ—নিম্নলিখিত বাক্যগুলির অনুক্তি পূরণ কর। লাইনের একেবারে ডান পাশে যে স্থান রাখা হইয়াছে সেই স্থানে শব্দটি বসাইতে হইবে।

(i) এক ফুটকে সেন্টিমিটারে প্রকাশ করিলে হয় —

(ii) এক ঘন ফুট ঠাণ্ডা জলের ভর প্রায় —

(iii) r ব্যাসার্ধের একটি গোলকের বহিঃপৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল —

(iv) π একটি শুদ্ধ সংখ্যা ; ইহার মান —

2. Completion type.

নির্দেশ—নিম্নলিখিত বাক্যগুলি পড়িয়া উহাদের মধ্যস্থ অনুক্তিগুলি উপযুক্ত শব্দ দ্বারা পূরণ করিতে হইবে। শব্দগুলি যথাস্থানে না বসাইয়া ফাঁকের নম্বরের সহিত নম্বর মিলাইয়া ডান পাশের প্রদত্ত স্থানে বসাইতে হইবে।

(i) কোন বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব যত,—(1) প্রণালীতে — (1)
উহার ঘনত্বও তত। কিন্তু—(2) প্রণালীতে — (2)
ঐ—(3) নির্ণয় করিতে হইলে—(4) কে — (3)
— (4)
—(5) দ্বারা গুণ করিয়া গুণফলকে — (5)
—(6) এককে প্রকাশ করিতে হয় — (6)

3. Alternate response type.

(a) 'Yes' or 'No' type.

নির্দেশ—নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির মধ্যে যেটির উত্তর 'হ্যাঁ', হইবে তাহার ডান পাশে Y এবং যেটির উত্তর "না" হইবে তাহার ডান পাশে N লিখ।

(i) তরলের চাপ কি নীচের দিকে পড়ে ? —

(ii) কঠিন বস্তুর চাপ কি পাশের দিকে পড়ে ? —

(b) True or False type.

নির্দেশ—নিম্নলিখিত উক্তিগুলির মধ্যে তুমি যেগুলিকে সত্য বলিয়া জান উহাদের লাইনের ডান পাশে যে স্থান আছে তাহাতে T এবং যেগুলি মিথ্যা বলিয়া জান সেইগুলির অনুরূপ স্থানে F লিখ।

(i) তরল পূর্ণ নলকে কাত করিয়া রাখিলেও তরলের চাপ নির্ভর করিবে উহার উল্লম্ব উচ্চতা ও গভীরতার উপর —

(ii) তরল বস্তু উহার সংলগ্ন পাত্রের উপর লম্বভাবে চাপ দেয় —

(iii) কর্ক এবং জাহাজের জলে ভাসিবার মধ্যে মূলত কোন পার্থক্য নাই, কারণ উভয় ক্ষেত্রেই ভাসমান অবস্থায় সমান ওজনের জল অপসারিত হইবে —

4. Association type.

নির্দেশ—প্রতি লাইনে : : এই দাগের বামদিকে দুইটি বস্তু বা প্রক্রিয়ার নাম আছে। প্রথমটির সহিত দ্বিতীয়টির যে সম্পর্ক, : : এই দাগের ডান দিকের দুইটি বস্তু, সংখ্যা বা প্রক্রিয়ারও সেই সম্পর্ক। প্রতি লাইনে একেবারে ডান পাশে যে শব্দ বা সংখ্যা বসিবে তাহা নির্দিষ্ট স্থানে দাগের উপর লিখ।

চাপ : ঘাত : : 1 বর্গ একক : —

ব্যারোমিটারের মোটা নল : সরু নল : : 76 সে. মি. পারদ স্তম্ভ : —

5. Multiple choice type.

নির্দেশ—নীচে এক একটি কথা আছে এবং ঐ কথাগুলির প্রত্যেকটির সমর্থনে কয়েকটি করিয়া কারণ, দেখানো হইয়াছে। কারণ হিসাবে যে উক্তি করা হইয়াছে, তাহার প্রত্যেকটি পৃথকভাবে দেখিলে সত্য উক্তি বটে, যদিও কথার কারণ হিসাবে সকলগুলি সমান যুক্তিযুক্ত নহে। উপযুক্ত কারণটির সঙ্গে লিখিত (a) অথবা (b) অথবা (c) অক্ষরটি ডানপাশের লাইনে বসাও।

1. নিকলসনের হাইড্রোমিটার দ্বারা জল অপেক্ষা হাল্কা কঠিন বস্তুর (যেমন মোমের) আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিতে হইলে পৃথক কোন Sinker বা নিমজ্জকের আবশ্যক হয় না।

কারণ, —

(a) মোমের টুকরা নিকলসনের হাইড্রোমিটারের নীচের তুলাপাত্রে বাঁধিয়া দেওয়া চলে, এবং সেইজন্য ইহাকে নিমজ্জক ছাড়াই জলের নীচে ডুবাইয়া রাখা চলে।

(b) বস্তু হালকা অথবা ভারীই হউক, জলে নিমজ্জিত অবস্থায় উহা যে উর্ধ্বচাপ পায় উপরের তুলাপাত্রে ঠিক ততটুকু বেশী ওজন চাপাইলে উহা নির্দিষ্ট দাগ পর্যন্ত ডোবে, এবং সেই কারেণ অপসারিত জলের ওজন সহজেই পাওয়া যায়।

(c) নিকলসনের হাইড্রোমিটার দ্বারা আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় যে নীতির উপর নির্ভরশীল, তাহা হইতেছে স্বচ্ছন্দে ভাসমান বস্তুর ভাসিবার শর্ত। সুতরাং সঙ্গে নিমজ্জক থাকিলেও যে শর্ত, না থাকিলেও সেই শর্ত প্রযোজ্য হইবে।

2. পুরীতে ব্যারোমিটারের পারদ-স্তম্ভের উচ্চতা যত হয় দার্জিলিং-এ তার চেয়ে কম হয়। কারণ,

(a) দার্জিলিং পুরী অপেক্ষা অনেক উচ্চে অবস্থিত।

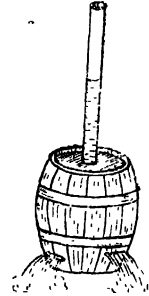
(b) দার্জিলিং-এর বায়ু পুরীর বায়ু অপেক্ষা অনেক ঠাণ্ডা।

(c) দার্জিলিং বায়ুমণ্ডলের যত গভীর বায়ুস্তরের নীচে আছে, পুরী তাহা অপেক্ষা অনেক গভীর বায়ুস্তরের নীচে আছে।

6. Diagrammatic type.

নির্দেশ—বিভিন্ন চিত্রের জন্য বিভিন্ন নির্দেশ সঙ্গে দেওয়া হইল।

(a) পার্শ্বের চিত্রে কোন ভুল থাকিলে চিত্রের সেই স্থানে X চিহ্ন দাও এবং কোথায় কি কারণে ভুল হইয়াছে তাহা নীচের স্থানে লিখ।

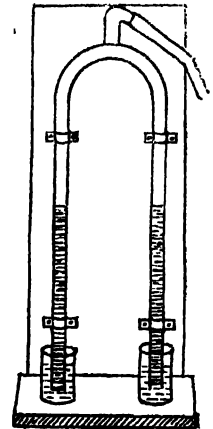
ভুল না থাকিলে উহা দ্বারা কি ব্যাখ্যা করা চলে লিখ।

(a)

(b) পার্শ্বের চিত্রে হেয়ারের যন্ত্র আছে।

(i) এই চিত্রে প্রধান ভুল কি কি হইয়াছে ?

(ii) যদি কোন ভুল না থাকিত, তবে দুই নলের তরলের ঘনত্ব সম্পর্কে কি ধারণা করা যাইত ?

(b)

তাপ

প্রথম অধ্যায়

থার্মমিতি ও প্রসারণ

প্রথম পাঠ

1.1. উষ্ণতা ও উহার পরিমাপ (Temperature and its Measurement) ঃ

একটি ছোট ঠাণ্ডা লোহার বলকে বায়ুশূন্য পাত্রের মধ্যে বিশেষভাবে নির্মিত তুলাযন্ত্রে ওজন করিয়া জ্যৈষ্ঠ মাসের প্রখর রৌদ্রে ঘণ্টা কয়েক বাহিরে ফেলিয়া রাখিলে দেখা যাইবে যে, উহা বেশ গরম হইয়াছে। তখন আবার উহাকে ঐরূপ বিশেষ ব্যবস্থায় ওজন করিলে দেখা যাইবে যে, ইহার ওজনের কোন পরিবর্তন ঘটে নাই। কিন্তু ঠাণ্ডা লোহার বলে নিশ্চয়ই কোন পরিবর্তন ঘটিয়াছে নতুবা উহা গরম হইত না; আর বস্তুর কোন পরিবর্তন ঘটাইতে হইলেই শক্তির আবশ্যক। সুতরাং ঠাণ্ডা বলের মধ্যে শক্তির সঞ্চার হইয়াছে বলিয়াই উহা গরম হইয়াছে। যে শক্তি ঠাণ্ডা বলকে গরম করিয়াছে উহাকে আমরা **তাপ (heat)** বলি।

সুতরাং তাপ একপ্রকার শক্তি, আর সেই শক্তি কোন বস্তুতে প্রয়োগ করিলে সাধারণত আমরা দেখি ঠাণ্ডা বস্তু গরম হয়। এই 'ঠাণ্ডা' বা 'গরমের' ধারণা আমাদের সকলেরই আছে। শীতকালের শেষরাত্রে পথ, মাটি, পাকা বাড়ীর বারান্দা প্রভৃতি এত ঠাণ্ডা হয় যে, খালি পায়ে হাঁটিলে পায়ে বেশ ঠাণ্ডা লাগে ঃ আবার গ্রীষ্মকালে সূর্যের তাপে পথ, মাটি প্রভৃতি এত গরম হয় যে, গরমের জন্য খালি পায়ে হাঁটা যায় না। এই ঠাণ্ডা ও গরমের ধারণাকে আমরা উষ্ণতা বলি। যে জিনিস বেশী গরম তাহার উষ্ণতা বেশী, যে জিনিস ঠাণ্ডা তাহার উষ্ণতা কম আবার আমরা 'ঈষদুষ্ণ জল' বা 'কম গরম জল' আর 'বেশী গরম জল' প্রভৃতি বলিয়া গরম জলের উষ্ণতার পার্থক্য বিচার করি। আবার কম ঠাণ্ডা, বেশী ঠাণ্ডা বলিয়া ঠাণ্ডার তারতম্য বুঝাই। সুতরাং বস্তুর যে অবস্থা দ্বারা আমরা ইহা গরম অথবা ঠাণ্ডা বুঝিতে পারি, বা বেশী গরম বা কম গরম, আবার বেশী ঠাণ্ডা কিম্বা কম ঠাণ্ডা এই সকল কথা বুঝিতে পারি, বস্তুর সেই অবস্থাকে আমরা বস্তুর **উষ্ণতা (temperature)** বলি।

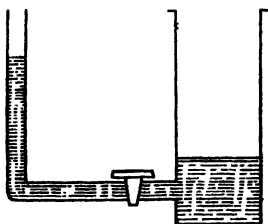
এক কাপ চা এত গরম যে চুমুক দেওয়া যাইতেছে না; ঐ চা একটা ঠাণ্ডা

কাঁসার গ্লাসে ঢালিয়া একটু পরেই আবার কাপে ঢালিয়া লইলে হয়ত চা পান করা যাইবে। চা আগের তুলনায় একটু ঠাণ্ডা হইয়াছে কিন্তু গ্লাস আগের তুলনায় বেশ গরম হইয়াছে। গ্লাস তাপ পাইয়াছে গরম চা হইতে, তাই গ্লাসের উষ্ণতা বাড়িয়াছে, আর চা তাপ হারাইয়াছে তাই উহার উষ্ণতা কমিয়াছে। এখন আবার ঐ গ্লাসে কুঁজো হইতে কিছু ঠাণ্ডা জল ঢালিলে একটু পরেই গ্লাস ঠাণ্ডা হইবে এবং কুঁজোর জল গ্লাসে পড়িয়া একটু গরম হইবে।

সুতরাং সাধারণভাবে বলা যায় যে, তাপ পাইলে বস্তুর উষ্ণতা বাড়ে এবং তাপ হারাইলে উষ্ণতা কমে। (ইহার ব্যতিক্রম পরে আলোচিত হইয়াছে)। আবার আগের উদাহরণ হইতে ইহাও বুঝা যায় যে, কোন ঠাণ্ডা বস্তুকে গরম করিতে হইলে উহা অপেক্ষা গরম—অর্থাৎ, বেশী উষ্ণ কোন বস্তুর সাহায্য লইতে হয়। সুতরাং আমরা দেখি সর্বদা **অধিক উষ্ণ বস্তু হইতে কম উষ্ণ বস্তুতে স্বাভাবিক নিয়মে তাপ যায়।**

মনে রাখিতে হইবে **তাপ শক্তি, আর উষ্ণতা বস্তুর অবস্থা।** তাপের উপর উষ্ণতা নির্ভর করে বটে কিন্তু তাপ ও উষ্ণতা এক কথা নহে।

কোন পাত্রে জল ঢালিলে নির্দিষ্ট পরিমাণ জল পাত্রের এক নির্দিষ্ট লেভেল পর্যন্ত উঠিবে, এক্ষেত্রে জলের লেভেল জলের পরিমাণের উপর নির্ভর করিবে। কিন্তু জলের লেভেল আর জল এক কথা নহে। জল ঢালিলে লেভেল উপরে উঠে; এখানে জল ঢালা-ই কারণ, লেভেল উপরে উঠা উহার এক লক্ষণ বা প্রকাশ বা ফল। সেইরূপ তাপ একপ্রকার শক্তি, উষ্ণতা বস্তুর এক বিশেষ অবস্থা; অথবা বলা চলে তাপ শক্তি, আর উষ্ণতা উহার ফল বা প্রভাব।

আবার যদি একটি সরু ও মোটা নল একটি চাবি দ্বারা যুক্ত থাকে এবং সরু নলে অল্প জল অনেক উঁচু লেভেল পর্যন্ত থাকে আর মোটা নলে অনেক বেশী জল নীচু লেভেলে থাকে তথাপি চাবি খুলিয়া দিলে দুই পাত্রের জলের লেভেল সমান না হওয়া পর্যন্ত সরু নল হইতেই জল মোটা নলে যাইবে। এস্থলে জলের গতি নির্ভর করে পাত্রের জলের লেভেলের উচ্চতার উপর—জলের পরিমাণের উপর নহে।

চাবিযুক্ত-সংযুক্ত পাত্রের জল

সেইরূপ তাপ কোন্ বস্তু হইতে কোন্ বস্তুতে যাইবে তাহা নির্ভর করে ঐ দুই বস্তুর উষ্ণতার উপর, তাপের পরিমাণের উপর নহে। অধিক উষ্ণ বস্তু হইতেই কম উষ্ণ বস্তুতে তাপ যাইবে, কোন্ বস্তুতে মোট তাপ কত আছে তাহা দ্বারা ইহা স্থির হইবে না।

মনে কর স্পিরিট ল্যাম্পের সাহায্যে এক বীকার জল গরম করা হইল। ইহাতে যে পরিমাণ স্পিরিট ক্ষয় হইল তাহার পরিমাণ আন্দাজ করা চলে। এইবার একটি আলপিন চিমটার সাহায্যে বাতির শিখায় ধরিলে এক মুহূর্তে উহা লাল হইয়া যাইবে, সুতরাং জলের তুলনায় অতি অল্প তাপ লইয়াই ইহা জল অপেক্ষা বেশী গরম হইল। কারণ, আগে জল গরম করিতে যত স্পিরিট খরচ হইয়াছিল তাহার তুলনায় আলপিন গরম করিতে যে স্পিরিট খরচ হইয়াছে তাহার পরিমাণ নগণ্য। এখন আলপিনটি জলে ছাড়িলে আলপিন হইতেই তাপ জলে যাইবে। জলের মধ্যে যে তাপ আছে তাহার তুলনায় আলপিনে খুবই কম তাপ থাকা সত্ত্বেও তাপ আলপিন হইতেই জলে যাইবে, কারণ আলপিনের উষ্ণতা বেশী।

এই সকল উদাহরণ হইতে আমরা **তাপ ও উষ্ণতার মধ্যে এই পার্থক্যগুলি** লক্ষ্য করিলাম।

(1) তাপ একপ্রকার শক্তি, উষ্ণতা বস্তুর তাপ-সংক্রান্ত এক বিশেষ অবস্থা।

(2) তাপ কারণ, উষ্ণতা উহার প্রভাব।

(3) উষ্ণতা তাপের উপর নির্ভর করে, কিন্তু বেশী উষ্ণ বস্তুর তাপের মোট পরিমাণ কম উষ্ণ বস্তুর তাপের মোট পরিমাণ অপেক্ষা কম হইতে পারে।

(4) তাপ কোন্ বস্তু হইতে কোন্ বস্তুতে যাইবে তাহা উষ্ণতা দ্বারা স্থির হয়—বেশী উষ্ণ বস্তু হইতে স্বাভাবিক নিয়মে তাপ কম উষ্ণ বস্তুতে যায়।

1.11. তাপের উৎস ঃ

পৃথিবীতে আমরা যত শক্তি ব্যবহার করিয়া কাজ করাইয়া লই তাহার মূল উৎস সূর্য। তাপও একপ্রকার শক্তি, সুতরাং আমরা যত প্রকারে তাপ উৎপন্ন করিতে পারি তাহার প্রায় প্রত্যেক প্রকারের মূল উৎস সূর্য।

কিন্তু সোজাসুজি আমরা সূর্য হইতে প্রচুর তাপ পাইয়া থাকি। ঐ তাপ আছে বলিয়াই আমরা বাঁচিয়া আছি। সূর্যের তাপ হইতে আমরা পরোক্ষভাবে নানা কাজ পাইতেছি কিন্তু সূর্যের তাপ সোজাসুজি ব্যবহার করিয়া রান্না করা প্রভৃতি যে সকল কাজের জন্য আমাদের আগুন জ্বালাইতে হয় সেই সকল কাজ নিষ্পন্ন করিয়া লইবার ব্যবস্থা এখনও সহজসাধ্য হয় নাই।

কয়লা, পেট্রল, কাঠ, নদী ও জলপ্রপাতের জলস্রোত প্রভৃতি মূলত সূর্য হইতেই শক্তি সঞ্চিত করিয়া রাখে; কিন্তু আমরা আমাদের প্রয়োজনমত বেশী

বা কম তাপ পাইবার জন্য কাঠ, কয়লা, পেট্রল, বিদ্যুৎ প্রভৃতিকে প্রত্যক্ষভাবে তাপের উৎসরূপে পাইয়া থাকি। কয়লা, পেট্রল প্রভৃতি হইতে তাপশক্তি পাইতে হইলে ঐগুলি পোড়ানো আবশ্যক। প্রকৃতপক্ষে ঐগুলি বায়ুর অক্সিজেনের সহিত রাসায়নিক ক্রিয়ায় মিলিত হইবার কালেই তাপ উৎপন্ন হইয়া থাকে। সুতরাং এই সকল ক্ষেত্রে প্রত্যক্ষভাবে আমরা রাসায়নিক ক্রিয়ার ফলেই তাপ পাইয়া থাকি।

ইহা ছাড়াও পটকা, বোমা প্রভৃতি ফাটিবার সময় যে তাপ উৎপন্ন হয় তাহাও রাসায়নিক ক্রিয়ার ফলেই উৎপন্ন হইয়া থাকে।

আবার ঘর্ষণে তাপ উৎপন্ন হয়; নিজের দুই হাত একত্র করিয়া ঘষিলেই হাতের চেটো গরম হইয়া উঠে, পাথরের চাক্তি ঘুরাইয়া ক্ষুর, দা প্রভৃতি শান দিবার সময়েও পাথরের সহিত লোহার ঘর্ষণে তাপ এবং আলোক উৎপন্ন হয়। কাঠমিস্ত্রিরা যখন কাঠে একটা পেঁচানো লোহার সাহায্যে ছিদ্র করে তখন ঐ লোহা ও কাঠ গরম হইয়া উঠে, করাত দ্বারা কাঠ চিরিবার সময়ও করাত ও কাঠ গরম হয়, এই সকল ক্ষেত্রে ঘর্ষণ হইতে তাপ উৎপন্ন হয়।

তাপের মধ্যে জোরাল বিদ্যুৎপ্রবাহ চালাইলে তার গরম হইয়া উঠে। এই তত্ত্বের উপর নির্ভর করিয়া বৈদ্যুতিক ইস্ত্রি, উনান প্রভৃতি প্রস্তুত করা হয়।

1.12 তাপের প্রভাব (Effects of Heat):

(i) **উষ্ণতার পরিবর্তন**—তাপ পাইলে সাধারণত বস্তুর উষ্ণতা বাড়ে এবং তাপ হারাইলে উষ্ণতা কমে। এ সম্পর্কে আগেই আলোচনা করা হইয়াছে এবং উদাহরণ দেওয়া হইয়াছে।

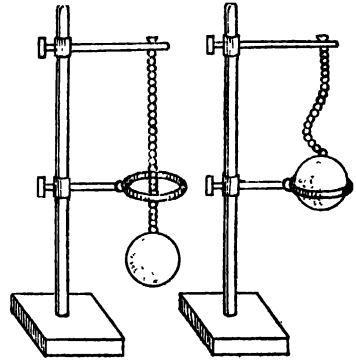
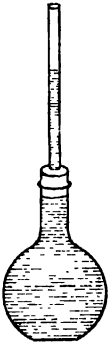
এই নিয়মের কিন্তু একটি **ব্যতিক্রম** আছে। বস্তু যখন কঠিন হইতে তরল এবং তরল হইতে বায়বীয় হয় তখন, অর্থাৎ অবস্থার পরিবর্তনের সময়ে তাপ দিলে ঐ বস্তুর উষ্ণতা বাড়ে না। এ সম্পর্কে পরে বলা হইবে।

(ii) **আয়তনের পরিবর্তন**—সাধারণত তাপে বস্তুর আয়তন বাড়ে, তাপ হারাইলে বস্তু সঙ্কুচিত হয়। আয়তনের পরিবর্তন হইলে অবশ্যই দৈর্ঘ্য, প্রস্থ এবং উচ্চতার পরিবর্তন ঘটে, এবং যে এক বা একাধিক তল দ্বারা বস্তু সীমাবদ্ধ থাকে তাহার ক্ষেত্রফলও পরিবর্তিত হয়।

পরীক্ষা: তাপে কঠিন বস্তুর আয়তন বৃদ্ধি—একটি পিতলের রিং বা বলয় একটি দণ্ডের সহিত ক্ল্যাম্পের সাহায্যে আটকানো আছে। ঐ ক্ল্যাম্পের উপরের

অংশ হইতে শিকল দ্বারা ঝুলানো একটা পিতলের বল আছে যাহা ঠাণ্ডা অবস্থায় ঐ রিং-এর ভিতর দিয়া যাওয়া-আসা করিতে পারে অথচ বল ও রিং-এর মধ্যে বেশী ফাঁকও থাকে না।

তাপে কঠিন বস্তুর আয়তন বৃদ্ধি

রিং হইতে যথাসম্ভব দূরে রাখিয়া বলটিতে তাপ দাও। খুব উত্তপ্ত হইলে বলটিকে রিং-এর ভিতর দিয়া আগের মত চালাইতে চেষ্টা কর। দেখিবে বলটি আর রিং-এর ভিতর দিয়া যাইতেছে না; রিং-এর উপরে আটকাইয়া আছে। ইহাতে বুঝা গেল যে তাপে বলটির আয়তন বাড়িয়াছে।

পরীক্ষাঃ তাপে তরল বস্তুর আয়তন বৃদ্ধি—একটি বড় ফ্লাস্ক রঙীন জল দ্বারা পূর্ণ কর। একটি উপযুক্ত কর্ক লইয়া উহার মধ্যে ছিদ্র করিয়া একটি দুই মুখ খোলা কাঁচের লম্বা সরু নল প্রবেশ করাইয়া দাও। এখন ঐ নলসহ কর্ক দ্বারা ফ্লাস্কটি বন্ধ কর; দেখিবে রঙীন জল নলের মধ্যে কিছু দূর পর্যন্ত উঠিয়াছে। ঐ স্থানে সুতা বাঁধিয়া একটি চিহ্ন রাখ।

তাপে তরল বস্তুর আয়তন বৃদ্ধি

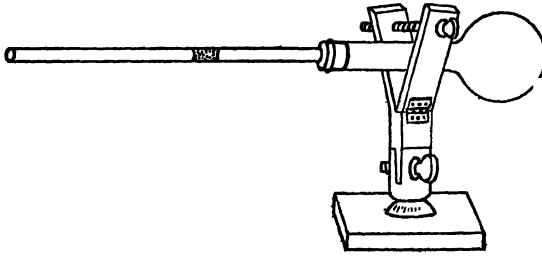
একটি বড পাত্রে ফুটন্ত গরম জল ঢালিয়া ফ্লাস্কটি ঐ জলের মধ্যে ডুবাইয়া দাও। দেখিবে নলের মধ্যস্থ জল প্রথমে একটু নামিয়া পরে আবার উঠিয়া যাইবে।

ফ্লাস্কটিই প্রথমে গরম হয় এবং সঙ্গে সঙ্গে উহার আয়তন বাডে। ঐ বাড়্তি স্থানটুকু পূর্ণ করিবার জন্য জল প্রথমে নীচে নামিয়া যায়; কিন্তু পরে জল গরম হইয়া ঐ পাত্র অপেক্ষা অনেক বেশী বাড়ে, সুতরাং নলের জল উপরের দিকে উঠিতে থাকে।

এই পরীক্ষা হইতে প্রমাণ হয় যে, তাপের প্রভাবে তরল বস্তুর আয়তন বাড়ে।

এই নিয়মেরও **ব্যতিক্রম** দেখা যায়। এক বিশিষ্ট উষ্ণতার (4°C) নীচের উষ্ণতায় জলকে গরম করিলে উহার আয়তন কমে।

পরীক্ষাঃ তাপে বায়বীয় বস্তুর আয়তন বৃদ্ধি—একটি লম্বা কাঁচনলে একটু রঙীন জল টানিয়া তোল। উহা একটি উপযুক্ত কর্কের ছিদ্রের মধ্যে

প্রবেশ করাইয়া ঐ কর্ক দ্বারা একটি ফ্লাস্কের মুখ ভালরূপে বন্ধ কর। এখন কাঠের ক্ল্যাম্পের সাহায্যে ঐ ফ্লাস্কটিকে অনুভূমিক করিয়া আটকাইয়া রাখ।

তাপে বায়বীয় বস্তুর আয়তন বৃদ্ধি

দুই হাত একত্র করিয়া কয়েকবার ঘষিয়া দুই হাতে ফ্লাস্ক চাপিয়া ধর। দেখিবে রঙীন জল নলের খোলা মুখের দিকে যাইতেছে। ইহাতে প্রমাণ হয় যে অল্প তাপেই বায়ুর আয়তন বেশ খানিকটা বাড়িয়া যায়।

(iii) **অবস্থার পরিবর্তন**ঃ যে কঠিন, তরল বা বায়বীয় পদার্থের উষ্ণতা বাড়াইলে কোন রাসায়নিক পরিবর্তন ঘটে না, উহাকে তাপ দিয়া কঠিন হইতে তরল, তরল হইতে বায়বীয় করা চলে; আবার তাপ হ্রাস করিয়া বায়বীয় অবস্থা হইতে তরল ও তরল হইতে কঠিন অবস্থায় আনা চলে। সোনা, রূপা, পারদ প্রভৃতি ধাতু, গন্ধক, মোম, জল প্রভৃতি বস্তুকে ঐরূপ তিন অবস্থায় নেওয়া চলে। কিন্তু কাঠ, কাগজ প্রভৃতিকে ঐরূপ তিন অবস্থায় নেওয়া চলে না। কারণ, গরম করিলে ঐগুলিতে আগেই রাসায়নিক ক্রিয়া ঘটিয়া যায়।

(iv) **রাসায়নিক পরিবর্তন**ঃ তাপের ফলে রাসায়নিক পরিবর্তন ঘটে। চুনা পাথরকে গরম করিলে চুন ও কার্বন ডাই-অক্সাইড গ্যাস উৎপন্ন হয়।

(v) **তাপে সাধারণ বা প্রাকৃতিক গুণের পরিবর্তন হয়**ঃ তারের মধ্যে বিদ্যুৎপ্রবাহ চলিলে তার ভাস্বর হইয়া উঠে; তাপে অবস্থার পরিবর্তন ঘটিলে সাধারণ গুণেরও পরিবর্তন ঘটে।

(vi) **তাপের সাহায্যে বিদ্যুৎ উৎপন্ন করা যায়**ঃ একটি লোহার তারের এক প্রান্ত তামার তারের এক প্রান্তের সহিত জুড়িয়া লইয়া এবং অপর দুই প্রান্ত ঐভাবে জুড়িয়া লইয়া একটি জোড়ার স্থান ঠাণ্ডা ও অপর জোড়ার স্থান গরম করিলে ঐ তারগুলিতে বিদ্যুৎপ্রবাহ চলিবে।

(vii) **জীবন রক্ষা ও জীবন নাশ**—অত্যধিক শীতে অনেক প্রাণী ও উদ্ভিদ বাঁচিতে পারে না; উহাদের বাঁচিবার জন্য উপযুক্ত পরিমাণে তাপ আবশ্যক; আবার অত্যধিক তাপে প্রাণী বা উদ্ভিদ বাঁচিতে পারে না, আর আগুনের তাপ প্রত্যক্ষভাবে গায়ে লাগিলে সজীব পদার্থ পুড়িয়া মরিতে পারে।

1.13. থার্মমিতি বা উষ্ণতা মাপিবার নীতি ও পদ্ধতি (Thermometry) :

কোন বস্তুকে তাপ দিলে উষ্ণতা বাড়ে এবং আয়তন বাড়ে। কোন নির্দিষ্ট বস্তুকে অল্প তাপ দিলে উষ্ণতা অল্প বাড়িবে এবং আয়তনও অল্পই বাড়িবে।

উষ্ণতার বৃদ্ধি আমরা দেখিতে পাই না, কিন্তু আয়তনের বৃদ্ধি আমরা দেখিতে পাই, সুতরাং নির্দিষ্ট বস্তুর আয়তন বেশী বাড়িলে উহার উষ্ণতাও বেশী বৃদ্ধি হইয়াছে তাহা বুঝিতে পারি। আবার সমান উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য কঠিন বস্তুর আয়তন যত বাড়ে, তরল বা বায়বীয় বস্তুর আয়তন তাহা অপেক্ষা অনেক বেশী বাড়ে। সুতরাং তরল এবং বায়বীয় বস্তুর আয়তনের বৃদ্ধি দেখিয়া উষ্ণতা কত বাড়িয়াছে তাহা নির্ণয় করিবার ব্যবস্থা করা যাইতে পারে। সাধারণ কাজের জন্য তরল বস্তুর আয়তন বৃদ্ধি (বা সংকোচন) দেখিয়াই উষ্ণতার বৃদ্ধি (বা হ্রাস) মাপিবার ব্যবস্থা করা হইয়াছে।

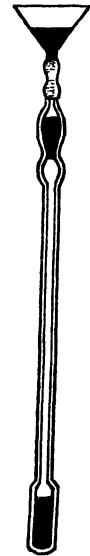
যে যন্ত্র দ্বারা উষ্ণতা মাপা হয় তাহাকে **থার্মমিটার (Thermometer)** বলে ; সর্বদা সাধারণ কাজের জন্য যে থার্মমিটার ব্যবহার করা হয়, তাহাতে নানা কারণে পারদ ব্যবহার করাই সুবিধাজনক।

1.14. পারদ থার্মমিটার (Mercury in glass Thermometer) :

সকল স্থানে সমান ব্যাসের ছিদ্রবিশিষ্ট একটি কাঁচের কৈশিক (অর্থাৎ, চুলের মত সরু) নল লইতে হইবে। উহার এক প্রান্তে একটি কুণ্ড বা bulb থাকিবে এবং অপর প্রান্ত খোলা হইবে। থার্মমিটারের কাঁচনলটি অতি সূক্ষ্ম ছিদ্রবিশিষ্ট হইলেও ইহার দেওয়াল খুব পুরু থাকে—প্রকৃতপক্ষে কাঁচনলটি একটি কাঁচদণ্ডের মধ্যস্থানে লম্বালম্বিভাবে একটি খুব সরু ছিদ্রবিশেষ। কিন্তু থার্মমিটারের কুণ্ডের দেওয়াল খুব পাতলা থাকে।

ঐ নলটির খোলা মুখের নিকটের স্থানটুকু আগুনের সাহায্যে গরম করিলে কাঁচ নরম হইবে, তখন গরম অংশের দুই দিক ধরিয়া টানিলে নরম স্থানটি সরু হইয়া যাইবে।

থার্মমিটারের নলে পারদ ভর্তি করা

নলকে পারদ পূর্ণ করা—নলটির খোলা মুখের সঙ্গে একটুকরা রবারের নলের সাহায্যে একটি ছোট ফানেল যুক্ত করিয়া ঐ ফানেলে একটু বিশুদ্ধ পারদ রাখিতে

হইবে। নলের ছিদ্র খুব সরু বলিয়া নলের বায়ু অপসারণ করিয়া নলে পারদ ঢুকিবে না। সেইজন্য কুণ্ডকে গরম করিতে হইবে, ভিতরের বায়ু তখন আয়তনে বাড়িয়া পারদের ভিতর দিয়া বুদ্‌বুদের আকারে বাহির হইয়া যাইবে। এখন কুণ্ডটি ঠাণ্ডা করিলে ভিতরের বায়ু সংকুচিত হইবে এবং বাহিরের বায়ুর চাপে কুণ্ডের মধ্যে পারদ ঢুকিবে। এইভাবে কুণ্ডকে ক্রমান্বয়ে গরম ও ঠাণ্ডা করিয়া কুণ্ডটি সম্পূর্ণ এবং নলের কিয়দংশ পর্যন্ত পারদপূর্ণ করিতে হইবে।

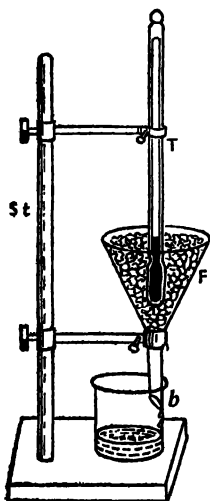
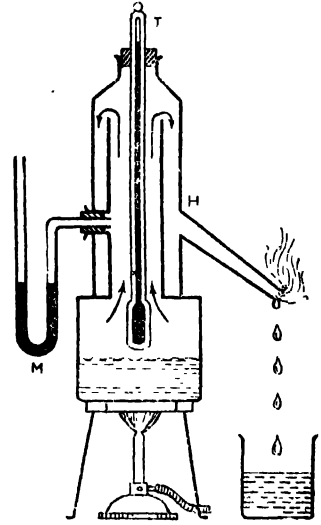
খোলা মুখ বন্ধ করা—ভবিষ্যতে থার্মমিটারটি যত বেশী উষ্ণতা পর্যন্ত ব্যবহৃত হইবে, তাহা অপেক্ষা অধিক উষ্ণতায় কোন তরল পদার্থে থার্মমিটারটির কুণ্ড এবং উপর দিকের যত অংশ সম্ভব ডুবাইয়া রাখ। কুণ্ডে এবং নলে যত পারদ ঐ উষ্ণতায় ধরিতে পারে তাহার অতিরিক্ত পারদ খোলা মুখ দিয়া বাহির হইয়া যাইবে। অনেকক্ষণ ঐ অবস্থায় রাখিয়া থার্মমিটারটি একটু উপরে তুলিলেই খোলা মুখের নিকট হইতে পারদ নীচের দিকে নামিতে থাকিবে। পারদ নলের সরু অংশ অতিক্রম করিতে না করিতে তীব্র এবং সূক্ষ্ম আগুনের শিখার সাহায্যে সরু স্থানটি গলাইয়া থার্মমিটারের মুখ বন্ধ করিতে হইবে।

ইহার ফলে থার্মমিটারের মধ্যে বায়ু থাকিবে না, এবং ভবিষ্যতে সবচেয়ে বেশী যে উষ্ণতা পর্যন্ত থার্মমিটার ব্যবহার করা হইবে তাহাতে থার্মমিটারেরর নল ফাটিবে না।

এইবার থার্মমিটারে দাগ কাটিবার পূর্বে দুইটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় থার্মমিটারের পারদের শেষ প্রান্তের অবস্থান নির্ণয় করিতে হইবে।

নিম্ন স্থিরাঙ্ক নির্ণয়

স্থিরাঙ্ক নির্ণয় (Determination of fixed points):

(ক) নিম্ন স্থিরাঙ্ক বা হিমাঙ্ক (Lower fixed point or Ice point) নির্ণয়: চিত্রে প্রদর্শিত মতে থার্মমিটারের কুণ্ডটিকে একটি ফানলের মধ্যে খাড়াভাবে ক্ল্যাম্পের সাহায্যে দাঁড করাইতে হইবে। পরে বরফের কুচি দিয়া কুণ্ড এবং নলের কিয়দংশ ঢাকিয়া দিতে হইবে। বরফ সব সময় যেন নলের মধ্যস্থ পারদ-স্তম্ভের প্রান্ত পর্যন্ত থাকে। অনেকক্ষণ অপেক্ষা করিয়া যখন দেখা যাইবে যে, বরফ দ্বারা আচ্ছন্ন অবস্থায়ও নলের পারদ আর নীচে নামিতেছে না, তখন ঐ পারদ-সূত্রের প্রান্তের বরাবর, কাঁচের উপর, একটি দাগ কাটিতে হইবে। উহাই নিম্ন স্থিরাঙ্ক।

(খ) ঊর্ধ্ব স্থিরাঙ্ক (Upper fixed point or Steam point) নির্ণয় : থার্মমিটারকে এখন প্রদর্শিত চিত্রের মত একটি স্ফুটনাঙ্ক নির্ণয়ের পাত্রে (hypsometer) বসাইতে হইবে। ঐ পাত্রের নীচের অংশে জল আছে, ইহার উপর চোঙের ন্যায় অংশে প্রকৃতপক্ষে একটির চারিদিকে আর একটি চোঙ আছে ; কিন্তু ভিতরেরটি হইতে বাহিরেরটিতে বাষ্প যাইবার পথ আছে এবং বাহিরেরটির এক-দিকে একটি নির্গম নল এবং অন্য দিকে একটি ম্যানোমিটার (manometer) আছে।

ঊর্ধ্ব স্থিরাঙ্ক নির্ণয়

থার্মমিটারটি এমনভাবে স্থাপন করিতে হইবে যে উহার বাল্‌ব যেন জল স্পর্শ না করে অথচ উহার পারদ-স্তম্ভের প্রান্ত যেন উষ্ণ অবস্থায়ও পাত্রের বাহিরে অতি সামান্যই দেখা যায়।

জল ফুটাইতে থাকিলে নির্গম নল দিয়া স্বচ্ছন্দে বাষ্প বাহির হইয়া আসিতে থাকিবে এবং তাহা হইলে ম্যানোমিটারের দুই দিকের নলেই একই উচ্চতায় পারদ আছে দেখা যাইবে।

ঐ উষ্ণতায় কৈশিক নলের যে উচ্চতায় পারদ উঠিবে তাহা বহু সময় ধরিয়া লক্ষ্য করিলেও যদি দেখা যায় যে, পারদ-সূত্র কৈশিক নলের একটি নির্দিষ্ট স্থানের আর উপরে উঠে না, তবে সেই স্থানে একটি দাগ দিতে হইবে এবং ইহার পরেই ব্যারোমিটার দেখিয়া রাখিতে হইবে। যদি ব্যারোমিটারে পারদ-স্তম্ভের উচ্চতা 76 সে. মি. না হয় তবে ঊর্ধ্ব স্থিরাঙ্ককে সংশোধন করা আবশ্যক হইবে।

মূল অন্তর (Fundamental Interval) : কোন থার্মমিটারের দুই স্থিরাঙ্কের উষ্ণতার পার্থক্যকে মূল অন্তর বলে।

দাগ কাটা—নিম্ন স্থিরাঙ্ককে 0° এবং ঊর্ধ্ব স্থিরাঙ্ককে 100° ধরিয়া মাঝের অংশকে সমান 100 অংশে ভাগ করিলে সেণ্টিগ্রেড (Centigrade) থার্মমিটার (যাহা বৈজ্ঞানিক কাজ-কর্মে বেশী ব্যবহার করা হয়) এবং নিম্ন স্থিরাঙ্ককে 32 ডিগ্রি আর ঊর্ধ্ব স্থিরাঙ্ককে 212 ডিগ্রি ধরিয়া মাঝের অংশকে সমান 180 অংশে ভাগ করিলে ফারেনহীট (Fahrenheit) থার্মমিটার প্রস্তুত হইবে।

প্রত্যেক থার্মমিটারের এক একটি দাগ এক একটি ডিগ্রি নির্দেশ করে।

স্থিরাঙ্ক নির্ণয়ে বায়ুমণ্ডলের চাপের প্রভাব ঃ

বরফ গলিবার উষ্ণতা বা গলনাঙ্ক (melting point) এবং জল ফুটিবার উষ্ণতা (boiling point) বা বরফ বা ফুটন্ত জলের উপর প্রযুক্ত চাপের পরিমাণের উপর নির্ভরশীল। (প্রকৃতপক্ষে সকল কঠিন এবং তরল বস্তুর পক্ষেই এই কথা প্রযোজ্য।)

সেই কারণে বায়ুমণ্ডলের স্বভাবী চাপে বরফের গলনাঙ্ককে নিম্ন স্থিরাঙ্ক ধরা হয়; এবং বায়ুমণ্ডলের স্বভাবী চাপে বিশুদ্ধ জলের স্ফুটনাঙ্ককে ঊর্ধ্ব স্থিরাঙ্ক ধরা হয়। সুতরাং বায়ুমণ্ডলের চাপ স্বভাবী চাপের (76 সে. মি. পারদ-স্তম্ভের চাপের) কম বা বেশী হইলে বরফের গলনাঙ্ক বা স্ফুটনাঙ্ক কমবেশী হইবে। কিন্তু চাপের সামান্য পার্থক্যে বরফের গলনাঙ্ক এত অল্প পরিবর্তিত হয় যে, তাহা না ধরিলেও স্থিরাঙ্ক নির্ণয়ে কোন ভুল হয় না বলিলেও চলে। কিন্তু চাপের সামান্য প্রভেদ হইলেও জলের স্ফুটনাঙ্কে উল্লেখযোগ্য পরিবর্তন ঘটে। সুতরাং ঊর্ধ্ব স্থিরাঙ্ক নির্ণয় করিবার সময় ব্যারোমিটারের উচ্চতা 76 সে. মি. না হইলে শুদ্ধি (correction) প্রয়োগ করা আবশ্যক।

ব্যারোমিটারের উচ্চতা প্রতি 27 মিলিমিটার পরিবর্তনের জন্য জলের স্ফুটনাঙ্ক 1° সেন্টিগ্রেড পরিবর্তিত হয় ধরিয়া মোটামুটিভাবে শুদ্ধি প্রয়োগ করা যাইতে পারে।

উদাহরণ ঃ একটি সেন্টিগ্রেড থার্মমিটারের ঊর্ধ্ব স্থিরাঙ্ক নির্ণয়ের সময় বায়ুমণ্ডলের চাপ ছিল 74·65 সে. মি.। ঐ সময়ে থার্মমিটারের গায়ে যে স্থানে ঊর্ধ্ব স্থিরাঙ্কের অস্থায়ী দাগ কাটা হইয়াছে তাহার দূরত্ব নিম্ন স্থিরাঙ্কের দূরত্ব হইতে 19 সে. মি. হইলে প্রকৃত ঊর্ধ্ব স্থিরাঙ্ক নিম্ন স্থিরাঙ্ক হইতে কত দূরে চিহ্নিত করিতে হইবে? থার্মমিটারের নলের ছিদ্র সর্বত্র সমান প্রস্থচ্ছেদবিশিষ্ট ধরিয়া লও।

চাপের প্রভেদ $76-74{\cdot}65=1{\cdot}35$ সে. মি.।

চাপের প্রভেদ 27 মি. মি. বা 2·7 সে. মি. হইলে জলের স্ফুটনাঙ্কের উষ্ণতার প্রভেদ 1°C.

$\therefore$ এস্থলে উষ্ণতার প্রভেদ $\frac{1{\cdot}35}{2{\cdot}7}\times 1^\circ\text{C}={\cdot}5^\circ\text{C}.$

চাপ স্বভাবী চাপের কম বলিয়া স্ফুটনাঙ্ক ছিল $99{\cdot}5^\circ$C.

এখন $(99{\cdot}5-0)^\circ$C-এর জন্য থার্মমিটারের গায়ে দুই চিহ্নের পার্থক্য 19 সে. মি.

$\therefore$ 100°C-এর জন্য থার্মমিটারের গায়ে দুই চিহ্নের পার্থক্য হইবে

$$\frac{19}{99{\cdot}5}\times 100 \text{ সে.মি.}$$

$$= \frac{1900}{99 \cdot 5} \text{ সে. মি.} = 19 \cdot 1 \text{ সে.মি.}$$

অর্থাৎ, 0°C-এর দাগ হইতে 19·1 সে. মি. উপরে 100°C-এর দাগ কাটিয়া মাঝখানের দৈর্ঘ্যকে সমান 100 অংশে বিভক্ত করিলে উহা প্রকৃত সেন্টিগ্রেড থার্মমিটার হইবে।

স্থিরাঙ্ক নির্ণয়ের প্রয়োজনীয়তা : হিমালয়ের উচ্চতা নির্দেশ করিবার জন্য আমরা বলি ইহা 29000 ফুট উঁচু। দার্জিলিং, শিলিগুড়ি বা ঘুম হইতে ইহার উচ্চতা 29000 ফুট নহে, সমুদ্রপৃষ্ঠ হইতে হিমালয়ের উচ্চতা 29000 ফুট; অর্থাৎ সমুদ্রপৃষ্ঠকে যদি 0 উচ্চতা ধরা হয় এবং 1 ফুট বলিলে যত দূরত্ব বুঝায় সেই সম্পর্কে যদি আমাদের ধারণা থাকে তবেই কোন স্থানের উচ্চতা অত ফুট বলিলে আমরা উহার উচ্চতা সম্পর্কে একটা ধারণা করিতে পারি।

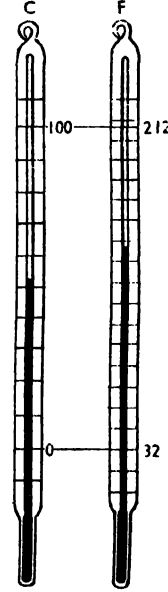
C সেন্টিগ্রেড এবং
F ফারেনহীট থার্মমিটার

বস্তুর উষ্ণতা মাপিবার জন্যও আমাদের (i) কোন এক উষ্ণতাকে 0 উষ্ণতা বলিতে হইবে এবং (ii) এক ডিগ্রি বলিলে কত উষ্ণতা বুঝায় তাহার ধারণা করিতে হইবে। সেই কারণে সেন্টিগ্রেড স্কেলে উষ্ণতা মাপিবার জন্য বরফের উষ্ণতাকে 0 ধরা হইয়াছে এবং বরফের উষ্ণতা হইতে ফুটন্ত জলের উষ্ণতার প্রভেদকে 100 ভাগ করিয়া এক ভাগকে ডিগ্রি বলা হইয়াছে।

ফারেনহীট স্কেলে বা ফারেনহাট মাপ অনুসারে নিম্ন ও উর্ধ্ব স্থিরাঙ্কগুলির মান যথাক্রমে 32° এবং 212° ধরা হইয়াছে এবং ঐ দুই উষ্ণতার প্রভেদকে 180 ডিগ্রিতে ভাগ করা হইয়াছে। সুতরাং এক ডিগ্রি ফারেনহীট উষ্ণতার প্রভেদ বলিলে 1° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতার প্রভেদ অপেক্ষা কম উষ্ণতার পার্থক্য বুঝায়।

সুতরাং—

(i) কোথা হইতে আমরা উষ্ণতার শূন্য মাপিতে আরম্ভ করিব তাহা স্থির করিবার জন্য এবং

(ii) এক ডিগ্রি বলিলে কত উষ্ণতার পার্থক্য বুঝিব তাহা স্থির করিবার জন্য দুইটি প্রাথমিক স্থিরাঙ্ক নির্ণয় করিয়া লওয়া আবশ্যক।

প্রত্যেক থার্মমিটারে স্থিরাঙ্ক দুইটি—অর্থাৎ, বরফ গলিবার উষ্ণতা এবং জল ফুটিবার উষ্ণতা—চিহ্নিত না থাকিতে পারে, কিন্তু প্রত্যেক থার্মমিটারে যে ডিগ্রির দাগ কাটা হয় তাহা ঐ দুই স্থিরাঙ্কের সহিত সম্পর্ক রাখিয়াই চিহ্নিত করা হয়; অর্থাৎ থার্মমিটারে স্থিরাঙ্ক চিহ্নিত না থাকিতে পারে, কিন্তু থার্মমিটারের যে-কোন স্কেল (অর্থাৎ যে-কোন হিসাবে উষ্ণতা মাপিবার প্রণালী) স্থিরাঙ্ক দুইটির সহিত এক নির্দিষ্ট সম্পর্ক বজায় রাখিয়াই গঠন করা হয়।

কোন্ উষ্ণতাকে 0 ধরা হইবে এবং কতটুকু উষ্ণতার পার্থক্যকে ডিগ্রি ধরা হইবে তাহা স্থির হইয়া গেলে প্রয়োজন অনুসারে বিভিন্ন কাজের জন্য 0° নীচের উষ্ণতা এবং 100° উপরের উষ্ণতা-জ্ঞাপক থার্মমিটার প্রস্তুত করা যাইবে।

প্রকৃতপক্ষে আমাদের ডাক্তারী থার্মমিটারে স্থিরাঙ্ক চিহ্নিত থাকে না এবং $95^\circ F$ হইতে $110^\circ F$ পর্যন্ত দাগ কাটা থাকে। কারণ, জীবিত অবস্থায় মানুষের শরীরের উষ্ণতা $95^\circ F$-এর কম বা $110^\circ F$ এর বেশী হয় না।

বিভিন্ন প্রকার থার্মমিটারের স্কেল ও উহাদের তুলনা :

উষ্ণতা মাপিবার জন্য প্রধানত সেন্টিগ্রেড এবং ফারেনহীট এই দুই প্রকার* পরিমাপের প্রণালী অনুসৃত হয়।

সেন্টিগ্রেড স্কেলের প্রবর্তক **সেলসিয়াস (Celsius)**, সেইজন্য সেন্টিগ্রেড স্কেলকে কখন কখন সেলসিয়াস স্কেল বলা হয়।

ফারেনহীট স্কেলের প্রবর্তক **ফারেনহীট (Fahrenheit)**; তাঁহার নাম অনুসারে ফারেনহীট স্কেল প্রচলিত।

এই দুই প্রকার স্কেলের পরস্পর সম্পর্ক নির্ণয় সহজেই করা চলে। উদাহরণ দেখিলেই তাহা স্পষ্ট বুঝা যাইবে।

অঙ্ক : (1) $77^\circ F$ কত ডিগ্রি সেন্টিগ্রেডের সমান ?

$77^\circ F$, হিমাঙ্ক অপেক্ষা $77-32=45$ ফারেনহীট ডিগ্রি-ঘর বেশী।

ফারেনহীটের 180 ডিগ্রি-ঘর = সেন্টিগ্রেডের 100 ডিগ্রি-ঘর

$$\therefore \quad ,, \quad 1 \quad ,, \quad = \quad ,, \quad \frac{5}{9} \quad ,,$$

$$,, \quad 45 \quad ,, \quad = \quad ,, \quad \frac{5\times 45}{9} \quad ,,$$

$$= \quad 25$$

সেন্টিগ্রেড স্কেলে হিমাঙ্ক $0^\circ C$; সুতরাং, $77^\circ F = 25^\circ C$.

* রোমার স্কেল নামক আরও একপ্রকার স্কেলে উষ্ণতা মাপা হয়। ইহাতে হিমাঙ্ককে 0 এবং স্ফুটনাঙ্ককে 80 ধরিয়া মাঝের স্থান সমান 80 ভাগে ভাগ করা হইত। ইহার প্রচলন নাই।

অঙ্ক ঃ (2) 45°C কত ডিগ্রি ফারেনহীটের সমান ?

45°C, সেন্টিগ্রেড স্কেলে হিমাঙ্কের উপর 45 ডিগ্রি-ঘর।

সেন্টিগ্রেডের 100 ডিগ্রি-ঘর = ফারেনহীটের 180 ডিগ্রি-ঘর

$$1 \quad ,, \quad = \quad ,, \quad \frac{9}{5} \quad ,, \quad ,,$$

$$45 \quad ,, \quad = \quad ,, \quad \frac{9 \times 45}{5} \quad ,, \quad ,,$$

$$= \quad ,, \quad 81 \text{ ডিগ্রি-ঘর}$$

∴ হিমাঙ্কের উপর সেন্টিগ্রেডের 45° = হিমাঙ্কের উপর ফারেনহীটের 81°.

কিন্তু ফারেনহীটের হিমাঙ্ক = 32°F

$$\therefore \quad 45^\circ C = (32 + 81)^\circ F.$$

$$= 113^\circ F.$$

[**দ্রষ্টব্য**—উপরের প্রথম অঙ্কে আমরা ফারেনহীট ডিগ্রি-জ্ঞাপক সংখ্যা হইতে আগে 32 বাদ দিয়া ঐ বিয়োগফলকে $\frac{5}{9}$ দ্বারা গুণ করিয়া সেন্টিগ্রেডের স্কেলে একই উষ্ণতাজ্ঞাপক সংখ্যা পাইয়াছি। সুতরাং যদি F ফারেনহীট এবং C সেন্টিগ্রেড একই উষ্ণতাজ্ঞাপক দুইটি স্কেলের দুইটি সংখ্যা হয়, তবে

$$\frac{(F - 32)5}{9} = C$$

অথবা $$\frac{F - 32}{C} = \frac{9}{5}$$

অথবা $$\frac{F - 32}{9} = \frac{C}{5}$$ এই ফরমূলার সাহায্যেও একপ্রকার স্কেল হইতে অন্য প্রকার স্কেলে যাওয়া যায়।]

অঙ্ক ঃ (3) 1958 খ্রীষ্টাব্দের মে মাসের 27 তারিখ কলিকাতায় সর্বোচ্চ তাপ হইয়াছিল 111°C ; ইহা সেন্টিগ্রেড স্কেলে কত ?

$$\frac{F - 32}{9} = \frac{C}{5}$$

$$\frac{111 - 32}{9} \times 5 = C$$

$$\therefore \quad 111^\circ F = \frac{79}{9} \times 5^\circ C$$

$$= 43 \cdot 88^\circ C.$$

অঙ্ক : (4) একটি থার্মমিটারে নিম্ন স্থিরাঙ্ককে 5° এবং ঊর্ধ্ব স্থিরাঙ্ককে 95° দাগ কাটা আছে।

(a) যে জিনিসের উষ্ণতা $60^\circ C$ তাহা ঐ থার্মমিটারে কত হইবে ?

(b) যে জিনিসের উষ্ণতা ভুল থার্মমিটারে 27° সেই জিনিসের প্রকৃত উষ্ণতা সেন্টিগ্রেড স্কেলে কত ?

(a) ভুল থার্মমিটারের $(95-5)=90$ ডিগ্রি-ঘর সেন্টিগ্রেড থার্মমিটারের 100 ডিগ্রি-ঘরের সমান।

সেন্টিগ্রেডের 100 ডিগ্রি-ঘর = ভুল থার্মমিটারের 90 ডিগ্রি-ঘর

,, 60 ,, = ,, $\frac{90}{100}\times 60$,,

= ,, 54 ,,

সেন্টিগ্রেডের $60^\circ C$ হিমাঙ্ক হইতে ঐ স্কেলের 60 ঘর উপরে। ভুল থার্মমিটারের হিমাঙ্ক 5°, $\therefore$ হিমাঙ্ক হইতে 54° বেশী উষ্ণতা $=54+5=59^\circ$.

(b) ভুল থার্মমিটারের 27°, হিমাঙ্ক হইতে ঐ থার্মমিটারে $27-5=22^\circ$ ডিগ্রি-ঘর উপরে।

ভুল থার্মমিটারের 90 ডিগ্রি-ঘর = সেন্টিগ্রেডের 100 ডিগ্রি-ঘর

,, 1 ,, = ,, $\frac{10}{9}$,,

,, 22 ,, = ,, $\frac{220}{9}$,,

সেন্টিগ্রেডের হিমাঙ্ক 0°.

$\therefore$ নির্ণেয় উষ্ণতা সেন্টিগ্রেডে $(220\div 9)^\circ C = 24{\cdot}44^\circ C$.

থার্মমিটারে পারদ ব্যবহারের সুবিধা :

থার্মমিটারের নির্মাণ-কৌশল হইতে বুঝা যাইবে যে আমরা থার্মমিটারের দুই স্থিরাঙ্কের মধ্যবর্তী নলের অংশটুকু সমান 100 বা 180 ভাগে ভাগ করিয়া ডিগ্রির দাগের পরিমাণ স্থির করি। আমরা ধরিয়া লই যে প্রতি 1° উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য থার্মমিটারের নির্দিষ্ট পরিমাণ পারদ সমান হারে বাড়ে। সকল তরলের এই গুণ নাই কিন্তু পারদের এই গুণ আছে। জলের এই গুণ নাই।

এক কাপ চায়ের উষ্ণতা মাপিবার জন্য যদি আমরা উহাতে থার্মমিটার বসাই তবে থার্মমিটারের কাঁচ ও পারদ ঐ উষ্ণ চা হইতে তাপ পাইবে এবং চা ঐ তাপ

হারাইয়া একটু ঠাণ্ডা হইবে, তখন পারদের অবস্থান দেখিয়া আমরা চায়ের উষ্ণতা বলিব। ইহাতে প্রকৃতপক্ষে প্রদত্ত চায়ের উষ্ণতা প্রথমে কমাইয়া সেই কমানো উষ্ণতা আমরা থার্মমিটার দ্বারা মাপিলাম। কিন্তু উপায়ান্তর না থাকায় বাধ্য হইয়া আমাদিগকে ঐরূপ করিতে হয়। তাই থার্মমিটারে যদি এমন বস্তু এমন পরিমাণে থাকে যে উহা অতিশয় অল্প তাপে গরম হইয়া যায়, তবে চা বা অন্য উষ্ণ বস্তু যে তাপ হারাইবে তাহা নগণ্য মনে করা যাইতে পারে এবং ফলে উষ্ণতার পার্থক্যও নগণ্যই হইবে। পারদ এমন বস্তু যাহা অতি অল্প তাপেই গরম হইয়া যায়। জলের ঐ গুণ নাই।

পারদ $-39°C$ উষ্ণতায় কঠিন হয় এবং $357°C$ উষ্ণতায় ফুটিতে থাকে। সুতরাং ইহা দ্বারা $-38°C$ হইতে $356°C$ পর্যন্ত উষ্ণতা ভাল ভাবেই মাপা যায়। অন্য কোন তরল পদার্থের দ্বারা এত বেশী পার্থক্যের মধ্যে (range-এ) উষ্ণতা মাপা যায় না।

পারদ কাঁচকে ভিজায় না। সুতরাং উষ্ণতা কমিলে থার্মমিটারের ভিতরের গা বাহিয়া তরল পদার্থ নামিয়া আসিবার জন্য অপেক্ষা করিতে হয় না।

উহা অস্বচ্ছ কিন্তু চক্‌চকে পদার্থ বলিয়া থার্মমিটারের নলে পারদ-সূত্রের প্রান্ত সহজে দেখা যায়।

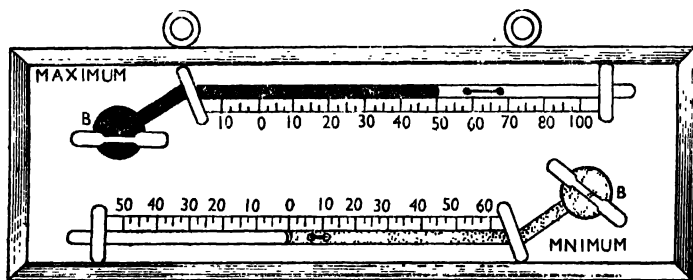
থার্মমিটারে পারদের উপরে বায়ু থাকে না, এবং পারদের বাষ্প যাহা হয় তাহার চাপ খুবই কম বলিয়া পারদের বৃদ্ধি ব্যাহত হয় না।

পারদ তাপের সুপরিবাহী বলিয়া থার্মমিটারের সকল পারদ প্রায় সমান উষ্ণ হয়।

কোহল থার্মমিটার ঃ কখন কখনও খুব নিম্ন উষ্ণতা মাপিবার জন্য পারদের পরিবর্তে কোহল (alcohol) থার্মমিটার নির্মাণ করিয়া ব্যবহার করা হয়। ইহা $78°C$ উষ্ণতায় ফুটিতে থাকে, সুতরাং $77°C$ উষ্ণতার বেশী উষ্ণতা ইহা দ্বারা মাপা চলে না। কিন্তু ইহা $-111°C$ উষ্ণতায় কঠিন হয়, সুতরাং $-110°C$ উষ্ণতা পর্যন্ত উহা ব্যবহার করা চলে। কিন্তু মোটের উপর কোহল থার্মমিটার অপেক্ষা পারদ থার্মমিটার বেশী সুবিধাজনক। কোহল থার্মমিটার খুব অল্প ক্ষেত্রেই ব্যবহৃত হয় ; পারদ থার্মমিটারের বহুল প্রচলন আছে।

1.15. চরম এবং অবম থার্মমিটার (Maximum and Minimum Thermometer) ঃ

(1) রাদার ফোর্ডের চরম থার্মমিটার ঃ এই থার্মমিটারে কাঁচের কুণ্ডটি

অপেক্ষাকৃত বড় থাকে এবং কৈশিক নলটির ভিতরের ব্যাস ও সাধারণ থার্মমিটার অপেক্ষা একটু বেশী হয়। নলটির মধ্যে একটি ডাম্বেল আকৃতির লোহার তৈয়ারী আলপিন থাকে। এই যন্ত্র সবদা অনুভূমিক অবস্থায় রাখা হয়। বায়ুর উষ্ণতা বাড়িলে পারদ আয়তনে বাড়িয়া ঐ ডাম্বেলটিকে ঠেলিয়া লইয়া যায়। ডাম্বেলটির যে প্রান্ত পারদ স্পর্শ করিয়া থাকিবে উহার বরাবর যে দাগ আছে তাহাই উষ্ণতা নির্দেশ করিবে। যদি উষ্ণতা আরও বাড়ে তবে ডাম্বেলের ঐ প্রান্ত আরও বেশী উষ্ণতা-নির্দেশক অঙ্কের নিকট যাইবে। কিন্তু যদি উষ্ণতা কমে তবে পারদ সংকুচিত হইবে

রাদার ফোর্ডের চরম ও অবম থার্মমিটার

এবং ডাম্বেলটি যে স্থানে ছিল সেখানেই থাকিয়া যাইবে। সুতরাং উহার সাহায্যে কোন নির্দিষ্ট সময়ের মধ্যে (সাধারণত 24 ঘণ্টার মধ্যে) উষ্ণতা কত বেশী হইয়াছিল তাহা, অর্থাৎ চরম উষ্ণতা দেখা যাইবে। নূতনভাবে উহাকে আবার স্থাপন করিতে হইলে একটি চুম্বকের সাহায্যে ঐ ডাম্বেলটিকে আকর্ষণ করিয়া পারদ-সূত্রের প্রান্তে লাগাইয়া রাখিতে হইবে।

(2) **রাদার ফোর্ডের অবম থার্মমিটার :** ইহাতে পারদের পরিবর্তে কোহল ব্যবহার করা হয়। কোহল আয়তনে বাড়িলে ডাম্বেল আকৃতির সূচকটিকে ঠেলিয়া লইয়া যাইতে পারে না, উহাকে ছাপাইয়া কোহল নলে বাড়িয়া যায়; কিন্তু উষ্ণতা কমিলে কোহলের আয়তন যখন কমে তখন কোহলের সূত্রের শেষ প্রান্ত ডাম্বেলটিকে টানিয়া লইয়া আসে। সুতরাং কোন নির্দিষ্ট সময়ের মধ্যে ডাম্বেলের যে প্রান্ত কুণ্ড হইতে দূরে থাকে তাহা সর্বনিম্ন বা অবম উষ্ণতা নির্দেশ করে। ইহাকেও নূতনভাবে স্থাপন করিতে হইলে একটি চুম্বকের সাহায্য লইতে হয়।

সিক্স্‌এর চরম ও অবম থার্মমিটার (Six's Maximum and Minimum Thermometer) :

এখানে একটি চরম ও অবম থার্মমিটার একত্র করা হইয়াছে। একটি কাঁচনলকে

চিত্রে প্রদর্শিত মতে দুইবার বাঁকাইয়া তিন ভাগে ভাগ করা হইয়াছে। উহার ABC অংশে কোহল, CDE অংশে পারদ এবং EF অংশে আবার কোহল আছে। ঐ নলের F প্রান্তে একটি কুণ্ড আছে। কোহল এবং পারদ উত্তাপে বাড়িলে কোহল আসিয়া কুণ্ডে জমা হইবে।

BC এবং EF অংশে দুইটি ডাম্বেল আকৃতির লোহার সূচক বাঁকানো পাতের স্প্রিং দ্বারা থার্মমিটারের নলের মধ্যে আটকানো থাকে।* চুম্বকের সাহায্যে দুই দিকের পারদ-সূত্রের উত্তল পৃষ্ঠের সহিত স্পর্শ করাইয়া সূচকগুলি বসাইতে হয়।

উষ্ণতা কমিলে ABC অংশের এ্যালকোহলের আয়তন কমে, CDE অংশের পারদের আয়তনও কমে। সুতরাং BC অংশে উভয় তরলের সংযোগ-স্থলের সূচকটিকে পারদ C হইতে Bর দিকে ঠেলিয়া লইয়া যায়। কিন্তু BE অংশে রক্ষিত সূচক যথাস্থানে থাকিয়া যায়।

উষ্ণতা বাড়িলে তরল পদার্থগুলির আয়তন বাড়ে BCর মধ্যস্থ সূচক যে স্থানেই থাকুক এ্যালকোহল আয়তনে বাড়িলে উহা স্থানচ্যুত হয় না কিন্তু FEর মধ্যস্থ সূচককে পারদ E অবস্থান হইতে ঠেলিয়া F-এর দিকে লইয়া যায়।

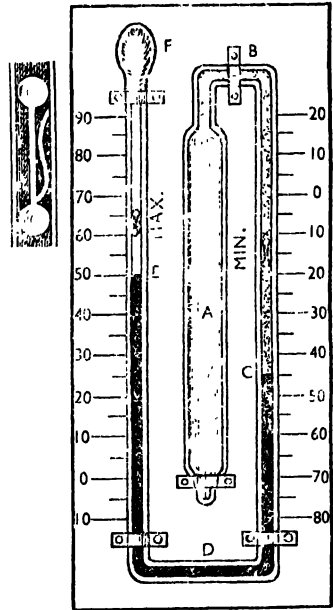
সিক্সের চরম ও অবম থার্মমিটার

সুতরাং ডান দিকের সূচক কোন নির্দিষ্ট সময়ের মধ্যে অবম উষ্ণতা নির্দেশ করিবে এবং বাম দিকের সূচকের নীচের অবস্থান ঐ একই সময়ের মধ্যে চরম উষ্ণতা নির্দেশ করিবে।

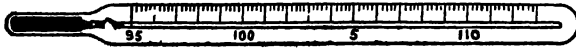
নলের পাশে যে দাগ কাটা থাকে তাহা DF অংশে D হইতে F-এর দিকে ক্রমোচ্চ ডিগ্রি নির্দেশ করে এবং DB অংশে B হইতে D-র দিকে ক্রম-নিম্ন ডিগ্রি নির্দেশ করে।

নির্দিষ্ট সময়ের পরে সূচকগুলির অবস্থান পড়িয়া আবার চুম্বকের সাহায্যে সূচকগুলিকে যথাস্থানে স্থাপন করিতে হয়।

সাধারণত এই যন্ত্র দ্বারা প্রতি 24 ঘণ্টার মধ্যে চরম ও অবম উষ্ণতা নিরূপিত হয়।

আবহাওয়া আফিসে স্বয়ংক্রিয় যন্ত্র দ্বারা দিনের বেলা সব সময় বায়ুর উষ্ণতাজ্ঞাপক লেখ-চিত্র লইবার ব্যবস্থা থাকে।

* বর্তমানে Zeal (London) কোম্পানীর থার্মমিটারের ডাম্বেলে স্প্রিং দেওয়া থাকে না।

ডাক্তারী থার্মমিটার (Clinical Thermometer) :

শ্রেণী হিসাবে ডাক্তারী থার্মমিটার একটি চরম (Maximum) থার্মমিটার। সাধারণ থার্মমিটার উষ্ণ বস্তু হইতে সরাইয়া আনিবার সঙ্গে সঙ্গে উহার পারদ সংকুচিত হইয়া কুণ্ডের দিকে নামিয়া আসে কিন্তু এই ডাক্তারী থার্মমিটার শরীর হইতে সরাইয়া লইবার বহু সময় পরেও উহা দেখিয়া শরীরের উষ্ণতা কত হইয়াছিল বুঝা যায়।

95 100 5 110

ডাক্তারী থার্মমিটার

এই থার্মমিটারের কুণ্ডের একটু উপরেই ইহার কৈশিক নলের এক অংশ অপেক্ষাকৃত বেশী সরু এবং বাঁকানো। কুণ্ডটি গরম হইলে উহার ভিতরের পারদ গরম হইয়া আয়তনে বাড়ে। তখন ঐ বাঁকানো সরু অংশের ভিতর দিয়া পারদ প্রসারিত হয়। শরীর হইতে থার্মমিটার তুলিয়া আনিলে ঐ সরু বাঁকানো অংশের সামান্য একটু পারদ আগে ঠাণ্ডা হইয়া সঙ্কুচিত হয়। ইহাতে কুণ্ডের পারদের সহিত নলের পারদের সূত্র ছিন্ন হইয়া যায়। কুণ্ডের পারদ ঠাণ্ডায় সংকুচিত হইয়া ভিতরে ঢুকিয়া যায় ; নলের পারদও আয়তনে কমে, কিন্তু নলের পারদের পরিমাণ এত কম যে উহার সংকোচনে পারদ-সূত্রের দৈর্ঘ্য যতটা কমে তাহা এত নগণ্য যে মোটেই বুঝা যায় না। সুতরাং পারদ-সূত্রের যে প্রান্ত কুণ্ডের বিপরীত দিকে থাকে, তাহার অবস্থান দেখিয়া শরীরের উষ্ণতা কত হইয়াছিল তাহা বহু পরেও বুঝা যায়।

কিন্তু থার্মমিটার আবার ব্যবহার করিতে হইলে আগে থার্মমিটার ঝাঁকাইয়া নলের পারদকে কুণ্ডের পারদের সহিত একত্র করিয়া লইতে হয় ; নতুবা জ্বর বাড়িলে ঠিকই ধরা পড়িবে কিন্তু কমিলে বুঝা যাইবে না।

ডাক্তারী থার্মমিটার ফারেনহীট থার্মমিটারের এক অংশ বলা যায়। ইহাতে 95°F হইতে 110°F পর্যন্ত দাগ কাটা আছে ; কারণ জীবিত অবস্থায় মানুষের শরীরের উষ্ণতা 95°F-এর কম হয় না বা 110°F-এর বেশী হয় না। শরীরের স্বাভাবিক উষ্ণতা 98·4°F-এর অবস্থানে একটি বিশেষ দাগ থাকে।

প্রশ্ন

1. তাপ ও উষ্ণতার মধ্যে পার্থক্যগুলি কি কি ?
(What are the differences between Heat and Temperature ?)

2. তাপের প্রভাব কি কি? উদাহরণসহ প্রত্যেক প্রকার প্রভাব ব্যাখ্যা কর।

(What are the effects of heat? Explain each effect with an example.)

3. একটি পারদ-থার্মমিটার কিভাবে প্রস্তুত করা হয় বর্ণনা কর।

(Describe the construction of a mercury thermometer.)

4. স্থিরাঙ্ক নির্ণয় না করিয়া কোন থার্মমিটার প্রস্তুত করা চলে কি? তোমার উত্তরের কারণ লিখ। সকল থার্মমিটারেই কি দুইটি স্থিরাঙ্ক চিহ্নিত থাকে? উদাহরণসহ তোমার উত্তর ব্যাখ্যা কর।

(Can a thermometer be constructed without previously determining the fixed points? Are the two fixed points marked on every thermometer? Explain your answer with examples.)

5. একটি থার্মমিটারের নিম্ন স্থিরাঙ্ক 2° এবং উর্ধ্ব স্থিরাঙ্ক 100° চিহ্নিত আছে। ঐ থার্মমিটারে যখন 56° উষ্ণতা দেখাইবে তখন সেন্টিগ্রেড থার্মমিটারে উষ্ণতা কত?

(The lower fixed point of a thermometer is marked 2° and the upper fixed point 100°. What will be the actual temperature in 0°C when this thermometer records 56°?) [*Ans.* 55·1°C]

6. একটি ফারেনহীট থার্মমিটারে নিম্নস্থিরাঙ্ক দাগ কাটিতে ভুলে 30° হইতে আরম্ভ করা হইয়াছে। সেইজন্য উর্ধ্ব স্থিরাঙ্কে 210° দাগ পড়িয়াছে। যে পাত্রের তরলের উষ্ণতা 45°C সেই তরলের উষ্ণতা ঐ ভুল ফারেনহীট থার্মমিটারে কত দেখাইবে?

(The lower fixed point of a Fahrenheit thermometer was erroneously marked 30° and hence the upper fixed point was marked 210°. What will be the reading of this thermometer when the actual temperature is 45°C?) [*Ans.* 111°C]

7. কোন্ উষ্ণতায় ফারেনহীট ও সেন্টিগ্রেডের থার্মমিটারে একই পাঠ দেখাইবে?

(At what temperature will the Fahrenheit and the centigrade thermometer give the same reading?) [*Ans.* −40°C ; −40°F]

8. থার্মমিটারে পারদ ব্যবহারের সুবিধা বর্ণনা কর।

(State the advantages of using mercury as a thermometric substance.)

9. চরম ও অবম থার্মমিটার বলিলে কি বুঝায়?

রাদার ফোর্ড অথবা সিক্সের চরম ও অবম থার্মমিটারের গঠন ও কার্যপ্রণালী বর্ণনা কর।

(What are meant by a maximum and a minimum thermometer? Describe and explain the action of a Rutherford or Six's maximum and minimum thermometer.)

10. ডাক্তারী থার্মমিটার কোন্ শ্রেণীর থার্মমিটার—চরম না অবম? তোমার উত্তর যুক্তি দ্বারা সমর্থন কর।

(To what class does the clinical thermometer belong, maximum or minimum? Give reasons for your answer.)

Additional Numerical Problems

1. The maximum temperature in Calcutta was 105°F on 1st April 1960. What was the temperature in centigrade scale? [*Ans.* 40·56°C]

2. Convert a temperature of 45°F., into centigrade scale and a rise in temperature by 45°F. into that according to centigrade scale. [*Ans.* 7·2°C ; 25°C]

3 Convert a temperature of 90°C into Fahrenheit scale and a fall in temperature by 90°C into that according to Fahrenheit scale. [*Ans.* 194°F ; 162°F]

4. A centigrade thermometer was tested for its fixed points and the lower fixed point was found to coincide with $-2°$ mark and the upper fixed paint 102° mark. If this thermometer indicates 55° ; find the true temperature in centigrade and Fahrenheit scales. [*Ans.* 54·8°C ; 130·64°F]

5. In the preceeding case what will be the reading of the wrong thermometer when the true temperature is 75°C ? [*Ans.* 76°]

Public Examination Questions

1. Describe the construction of a Doctor's Thermometer. Give a neat diagram.

Why should the thermometer be of uniform bore ?

Find the temperature which will be expressed by the same number both on the Fahrenheit and centigrade scales. [*Ans.* -40°F or -40°C] [H. S. 1960]

2. Give a labelled diagram of the apparatus you would use for determining the highest day temperature and the lowest night temperature in a room.

Explain how the apparatus is read and set.

The highest temperature on a certain day was observed to be 120·2° on the Fahrenheit scale. What should have been the corresponding indication on the centigrade scale ? [*Ans.* 49°C] [H S. 1961]

3. Explain how the fixed points of a thermometer are determined.

How could a thermometer be used to find whether the atmospheric pressure were above or below the normal ?

The reading of a faulty centigrade thermometer at the lower and upper fixed points are respectively +0 5 and 100·3 Find the correct temperature on the centigrde scale when the faulty thermometer reads 20.

[*Ans.* 19·44°C] [H. S. Comp. 1960]

4. What is meant by the fixed points of a thermometer ? How would you determine the upper one ?

Why is it necessary to note the barometric height when determining the upper fixed point of a thermometer ?

If the lower and upper fixed points of a thermometer are marked 20 and 140 respectviely, what reading would this thermometer indicate for a temperature of 92°F ? [*Ans.* 60°] [H. S. 1962]

5 Describe the construction of a mercurial thermometer and state how it is graduated.

What are the advantages of using mercury as a thermometric substance ?

[C. U. I. Sc. 1941]

6. What do you mean by the temperature of a substance ?

Describe with a neat diagram Six's thermometer and discuss the principle on which it works State some of its uses.

Determine the temperature which is indicated by the same number both in centigrade and Fahrenheit scales. [*Ans.* -40°C or -40°F] [C. U. I. Sc 1942]

7. What is meant by the 'fixed points' of a thermometer ?

Describe with all necessary details how you would determine them experimentally. (C. U. I. Sc. 1945)

8. What is the difference between the temperature of a substance and the total heat possessed by it ? [C. U. I. Sc. 1956]

দ্বিতীয় পাঠ

1.2. কঠিন বস্তুর প্রসারণ (Expansion of Solids) ঃ

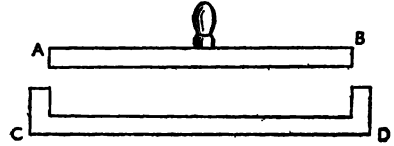
তাপে কঠিন, তরল, বায়বীয় সকল বস্তুরই আয়তন বাড়ে। এ-সম্পর্কে আগে প্রথম পাঠে একটি করিয়া পরীক্ষা বর্ণনা করা হইয়াছে।

কঠিন বস্তুর দৈর্ঘ্য, প্রস্থ এবং বেধ নির্দিষ্ট থাকে। উহাকে গরম করিলে সেই কারণে উহার দৈর্ঘ্য, প্রস্থ এবং বেধ এই তিন দিকেই উহা বড় হয়, ঠাণ্ডা করিলে ঐ তিন দিকেই উহা সংকুচিত হয়।

কিন্তু তরল ও বায়বীয় বস্তুর নির্দিষ্ট আকার না থাকায় দৈর্ঘ্য ও প্রস্থ মাপিবার অর্থ হয় না। আমরা উহাদের আয়তনের পরিমাপ করি এবং উষ্ণতা বাড়িলে উহাদের আয়তন কত বাড়ে তাহা মাপিয়া থাকি।

উষ্ণতা বৃদ্ধির ফলে কঠিন বস্তুর দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি, কোন পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল বৃদ্ধি বা সমগ্র আয়তন বৃদ্ধি পৃথকভাবে হিসাব করা যায়। পূর্বে বর্ণিত বল ও রিং-এর পরীক্ষায় আমরা কঠিনের আয়তন বৃদ্ধি লক্ষ্য করিয়াছি।

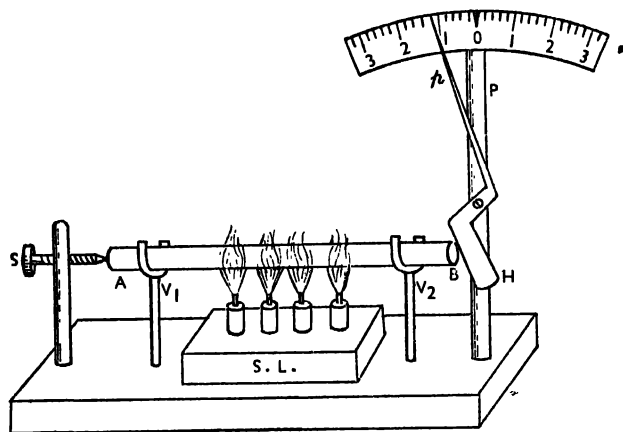
কঠিনের দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি দেখাইবার জন্য নিম্নলিখিত পরীক্ষা করা চলে :

প্রথম পরীক্ষা : একখানা লম্বা কাঠের দুই প্রান্তে দুই টুকরা কাঠ লাগাইয়া CD গজ বা খাঁজটি তৈরী করা আছে। AB একটি লোহার দণ্ড, ইহা ইহার মাঝখানে একটা কাঠের হ্যাণ্ডেলের সহিত যুক্ত।

তাপে দৈর্ঘ্যের প্রসারণ

AB লোহার দণ্ডটি ঠাণ্ডা অবস্থায় CD-র খাঁজে ঠিক মত বসে। কিন্তু AB-কে গরম করিলে উহা আর ঐ খাঁজে বসে না। ইহাতে বুঝা যায় যে, তাপে AB দণ্ডের দৈর্ঘ্য বাড়িয়াছে।

দ্বিতীয় পরীক্ষা : (Furgusson's Experiment) চিত্রে প্রদর্শিত মত একটি যন্ত্র আছে। উহার খাড়া দণ্ডটি P-র উপরে একখানি বাঁকানো স্কেল আছে।

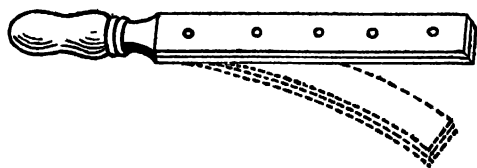
ঐ দণ্ডের সহিত নীচের দিকে একটি স্ক্রুর সাহায্যে একটি সূচক p আটকাইয়া দেওয়া আছে। ঐ সূচকের নীচের প্রান্ত একটি অনুভূমিক ধাতব দণ্ড AB-এর এক প্রান্ত স্পর্শ করিয়া আছে। ঐ অনুভূমিক দণ্ডটি আলগাভাবে দুই দিকে দুইটি V আকৃতির খাঁজের উপর বসানো আছে। অনুভূমিক দণ্ডের অপর প্রান্ত একটি নির্দিষ্ট স্থানে আটকানো স্ক্রুকে স্পর্শ করিয়া থাকে।

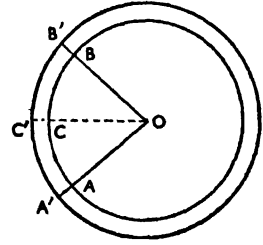
ঐ স্ক্রু ঘুরাইয়া দণ্ডটিকে এমন অবস্থানে আন যে, সূচক উপরের স্কেলের 0-দাগের উপর থাকে। এখন কয়েকটি স্পিরিট ল্যাম্পের সাহায্যে দণ্ডটিকে গরম করিলে

ফার্গুসনের পরীক্ষা ; S. L.—স্পিরিট ল্যাম্প

উহা দৈর্ঘ্যে বাড়িয়া সূচকের নীচের প্রান্ত ঠেলিয়া দিবে এবং সূচকের উপরের প্রান্ত স্কেলের উপর বিপরীত দিকে ঘুরিয়া যাইবে।

এই পরীক্ষা হইতে বুঝা যায় যে (i) তাপে বস্তুর দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি পায়। (ii) **যদি কোন অবস্থায় একদিকে দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি হইতে না পারে, তবে দৈর্ঘ্যের সম্পূর্ণ বৃদ্ধি অপরদিকে ঘটিবে।**

তৃতীয় পরীক্ষা : একখানা লোহার পাত এবং একখানা পিতলের (বা তামার) পাত একটির উপর আর একটি রাখিয়া রিভেট দ্বারা একত্র করা হইয়াছে। ঐ দুই ধাতুর যুক্ত পাতখানার একপ্রান্তে একটি কাঠের হ্যাণ্ডেল আছে।

দুই ধাতু নির্মিত দণ্ডে তাপের প্রভাব

লোহা ও পিতলের পাত দুই খানাই বেশ পুরু থাকে। এক হাতে হ্যাণ্ডেল এবং অপর হাতে যুক্তপাতখানার অন্যপ্রান্ত ধরিয়া পাতখানাকে বাঁকাইতে চেষ্টা কর। দেখিবে সাধারণ বল প্রয়োগে পাত বাঁকানো যায় না।

এখন উহাকে গরম কর ; দেখা যাইবে পাতখানা বাঁকিয়া গিয়াছে। সমান দৈর্ঘ্যের লোহা ও পিতলের পাত একই উষ্ণতা বৃদ্ধির ফলে বিভিন্ন পরিমাণে বাড়িয়াছে বলিয়াই যুক্ত পাতখানা বাঁকিয়া গিয়াছে। লক্ষ্য করিয়া দেখ, যুক্ত পাতখানা বাঁকিয়া গিয়া যে পৃষ্ঠ উত্তল (convex) হইয়াছে সেই পৃষ্ঠে অধিকতর দৈর্ঘ্যের পিতলের পাতখানা রহিয়াছে এবং যে পৃষ্ঠ অবতল সেই পৃষ্ঠে অপেক্ষাকৃত কম দৈর্ঘ্যের লোহার পাতখানা আছে।

B'A' বৃত্তচাপ BA অপেক্ষা বৃহত্তর। BB'AA' টুকরা কাটিয়া লইলে উহার উত্তল অংশের দৈর্ঘ্য অবতল অংশ অপেক্ষা অধিক হইবে

পাশের চিত্র দেখিলেই বুঝা যাইবে যে যুক্তপাতের অবতল অংশের দৈর্ঘ্য উত্তল অংশ অপেক্ষা কম হইবে।

এই পরীক্ষা হইতে বুঝা যায় যে,

(i) উষ্ণতা বাড়িলে কঠিনের দৈর্ঘ্য বাড়ে।

(ii) সকল পদার্থ সমান উষ্ণতা বৃদ্ধির ফলেও সমান বাড়ে না।

(iii) তাপের ফলে দৈর্ঘ্য বৃদ্ধির সময় প্রচণ্ড বল উৎপন্ন হয়, নতুবা সাধারণ বল প্রয়োগে যে যুক্ত পাত বাঁকানো যায় নাই তাহা উত্তপ্ত হওয়ায় বাঁকিয়া যাইত না।

1.21. দৈর্ঘ্য প্রসারণের গুণাঙ্ক (Co-efficient of Linear Expansion) :

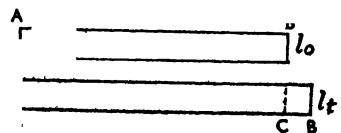
মনে কর, কোন দণ্ড $0°C$ উষ্ণতায় যেন l_0 সে. মি. লম্বা। ইহাকে যদি $t°C$ উষ্ণতা পর্যন্ত গরম করা হয় তবে উহার দৈর্ঘ্য নিশ্চয়ই বাড়িবে। মনে কর, $t°C$ উষ্ণতায় উহার দৈর্ঘ্য যেন l_t হইল।

তাহা হইলে l_0 দৈর্ঘ্য বাড়িয়া হইল l_t সে. মি. অর্থাৎ দৈর্ঘ্যের বৃদ্ধি হইল $(l_t - l_0)$ সে. মি.। উষ্ণতার বৃদ্ধি $(t-0)=t°C$. দেখা যায় যে নির্দিষ্ট উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য দৈর্ঘ্যের বৃদ্ধি $0°C$ উষ্ণতায় প্রাথমিক দৈর্ঘ্যের সমানুপাতিক হয় এবং প্রাথমিক দৈর্ঘ্য স্থির থাকিলে দৈর্ঘ্যের বৃদ্ধির সমানুপাতিক হয়।

সুতরাং $(l_t - l_0) \propto l_0 t$

(l_0 – ইহার অর্থ $0°C$ উষ্ণতায় দৈর্ঘ্য
l_t – ,, $t°C$,,)

$\therefore (l_t - l_0) \propto l_0 t$

$l_t - l_0 = \alpha . l_0 . t.$

উষ্ণতা বৃদ্ধির ফলে দণ্ডের দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি

এই অনুপাতের ধ্রুবক α কে দৈর্ঘ্য প্রসারণের গুণাঙ্ক বলা হয়।

$$\text{সুতরাং } \alpha = \frac{l_t - l_0}{l_0 . t}$$

$$= \frac{\text{দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি}}{0°C \text{ উষ্ণতায় দৈর্ঘ্য} \times \text{উষ্ণতা বৃদ্ধি}}$$

সুতরাং দৈর্ঘ্য প্রসারণের গুণাঙ্কের সংজ্ঞা এইভাবে দেওয়া হয়,—

সংজ্ঞা : কোন বস্তুর প্রতি একক দৈর্ঘ্য এক ডিগ্রি উষ্ণতা বৃদ্ধির ফলে যতটা বাড়ে উহা ঐ বস্তুর দৈর্ঘ্য প্রসারণের গুণাঙ্ক ; বস্তুর প্রাথমিক দৈর্ঘ্য 0°C উষ্ণতায় মাপা আবশ্যক।

ইহার অর্থ এইভাবে আরও স্পষ্ট বুঝা যাইবে।

মনে কর, বলা হইল যে পিতলের দৈর্ঘ্য প্রসারণের গুণাঙ্ক প্রতি ডিগ্রি সেন্টিগ্রেডে ·000018 ; ইহার অর্থ এই যে যদি 0°C উষ্ণতায় মাপা 1 সে.মি. দৈর্ঘ্যের পিতল খণ্ডকে 1°C উষ্ণ করা হয়, তবে উহার দৈর্ঘ্য ·000018 সে. মি. বাড়িয়া মোট দৈর্ঘ্য হইবে 1·000018 সে. মি.।

সেইরূপ 0°C উষ্ণতায় মাপা 1 ইঞ্চি বা 1 ফুট দৈর্ঘ্য 1°C উষ্ণতায় যথাক্রমে 1·000018 ইঞ্চি বা 1·000018 ফুট হইবে।

ফারেনহীটের 1° পার্থক্য = সেন্টিগ্রেডের $\frac{5}{9}$° পার্থক্য।

সুতরাং 32°F উষ্ণতায় নির্ণীত 1 সে. মি. দৈর্ঘ্যের পিতল 33°F উষ্ণতায় $·000018 \times \frac{5}{9} = ·00001$ সে. মি. বাড়িয়া 1·00001 সে. মি. হইবে এবং 32°F উষ্ণতায় নির্ণীত 1 ফুট দৈর্ঘ্যের পিতল 33°F উষ্ণতায় ·00001 ফুট বাড়িয়া 1·00001 ফুট হইবে।

উপরের উদাহরণ হইতে বুঝা যায় যে উষ্ণতা মাপিবার স্কেলের পার্থক্যে দৈর্ঘ্য প্রসারণের গুণাঙ্ক পরিবর্তিত হইতেছে কিন্তু দৈর্ঘ্য মাপিবার একক পরিবর্তন করিলেও ঐ গুণাঙ্ক পরিবর্তিত হইতেছে না। ইহার কারণ α একটি ভগ্নাংশের সমান এবং ঐ ভগ্নাংশে দৈর্ঘ্যের বৃদ্ধিকে মূল দৈর্ঘ্য দ্বারা ভাগ করিবার ফলে $\frac{l_t - l_0}{l_0}$ একটি সংখ্যা হইয়া যাইবে এবং দৈর্ঘ্য কোন্ এককে মাপা হয় তাহার উপর নির্ভর করিবে না।* কিন্তু উষ্ণতা বৃদ্ধিজ্ঞাপক t ঐ ভগ্নাংশের হারেই আছে, লবে নাই। সুতরাং α উষ্ণতা বৃদ্ধির উপর নির্ভর

* $\frac{5 \text{ft.}}{10 \text{ft.}} = \frac{1}{2}$; $\frac{5 \text{ cm.}}{10 \text{ cm.}} = \frac{1}{2}$.

করিবে। একই উষ্ণতা বৃদ্ধির পরিমাণ দুই প্রকার স্কেলে (সেন্টিগ্রেড ও ফারেনহাটে) দুইটি সংখ্যা দ্বারা প্রকাশিত হইবে, কারণ ডিগ্রির ঘর দুই স্কেলে সমান নহে। সেইজন্য উষ্ণতা বৃদ্ধি থার্মমিটারের বিভিন্ন স্কেলে মাপিলে দৈর্ঘ্য প্রসারণের গুণাঙ্ক বিভিন্ন হইবে।

প্রাথমিক উষ্ণতার দৈর্ঘ্যের সহিত অন্য উষ্ণতার দৈর্ঘ্যের সম্পর্ক—

যেহেতু $\alpha = \dfrac{l_t - l_0}{l_0 \times t}$

$$\therefore \quad l_t - l_0 = \alpha . l_0 t$$

$$l_t = l_0 \, (1 + \alpha t).$$

কঠিন বস্তুর তল প্রসারণের গুণাঙ্ক (Co-efficient of Superficial Expansion) :

সংজ্ঞা : উষ্ণতা বৃদ্ধির ফলে কোন কঠিন বস্তুর কোন তলের ক্ষেত্রফল বৃদ্ধি হইলে প্রতি একক ক্ষেত্রফলে এক ডিগ্রি উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য যতটা ক্ষেত্রফল বাড়ে উহাই ঐ বস্তুর তল প্রসারণের গুণাঙ্ক ; প্রাথমিক ক্ষেত্রফল $0^\circ C$ উষ্ণতায় মাপিতে হইবে।

মনে কর $S_0 = 0^\circ C$ উষ্ণতায় ক্ষেত্রফল।

$S_t = t^\circ C$ উষ্ণতায় ক্ষেত্রফল

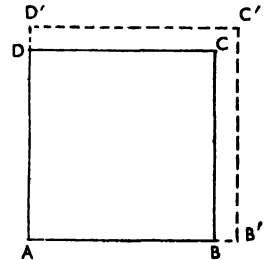
ক্ষেত্রফলের বৃদ্ধি $= S_t - S_0$

উষ্ণতার বৃদ্ধি $t - 0 = t$

প্রাথমিক ক্ষেত্রফল $= S_0$

তল প্রসারণের গুণাঙ্ক β হইলে

$$\beta = \frac{S_t - S_0}{S_0 \times t} = \frac{\text{ক্ষেত্রফলের বৃদ্ধি}}{0^\circ C \text{ উষ্ণতায় ক্ষেত্রফল} \times \text{উষ্ণতা বৃদ্ধি}}$$

এবং $S_t = S_0 \, (1 + \beta t)$.

ABCD বর্গের ক্ষেত্রফল S_0
AB′C′D′ বর্গের ক্ষেত্রফল S_t

দৈর্ঘ্য প্রসারণের গুণাঙ্কের একক সম্পর্কে মাপিবার প্রণালী পরিবর্তন সম্পর্কিত যে সকল মন্তব্য করা হইয়াছে তল প্রসারণের গুণাঙ্ক সম্পর্কেও সে সকল মন্তব্য প্রযোজ্য।

অর্থাৎ, ক্ষেত্রফলের একক পরিবর্তন করিলে তল প্রসারণের গুণাঙ্কের মান পরিবর্তিত হইবে না। কিন্তু থার্মমিটারের স্কেল পরিবর্তন করিলে ঐ ক্ষেত্রফল পরিবর্তিত হইবে।

কঠিন বস্তুর আয়তন প্রসারণের গুণাঙ্ক (Co-efficient of Volume Expansion) :

সংজ্ঞা : উষ্ণতা বৃদ্ধির ফলে কঠিন বস্তুর আয়তন বৃদ্ধি হইলে প্রতি একক আয়তনে এক ডিগ্রি উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য আয়তন যতটুকু বাড়ে উহাই ঐ বস্তুর আয়তন প্রসারণের গুণাঙ্ক; প্রাথমিক আয়তন 0°C উষ্ণতায় মাপিতে হইবে।

AG ঘনকের আয়তন V_0,
A′G′ ঘনকের আয়তন V

মনে কর $V_0 = 0°C$ উষ্ণতায় আয়তন

$V_t = t°C$,, ,,

আয়তনের বৃদ্ধি $= V_t - V_0$

উষ্ণতার বৃদ্ধি $= t$

∴ আয়তন প্রসারণের গুণাঙ্ক γ হইলে

$$\gamma = \frac{V_t - V_0}{V_0 \times t} = \frac{\text{আয়তনের বৃদ্ধি}}{0°C \text{ উষ্ণতায় আয়তন} \times \text{উষ্ণতা বৃদ্ধি}}$$

$$\therefore \quad V_t = V_0 (1 + \gamma t).$$

বস্তুর উষ্ণতা বৃদ্ধির সহিত ঘনত্বের পরিবর্তন :

মনে কর, কোন বস্তুর ভর m গ্র্যাম এবং 0°C উষ্ণতায় উহার আয়তন V_0 ঘন সে. মি. এবং ঘনত্ব প্রতি ঘন সেণ্টিমিটারে ρ_0 গ্র্যাম।

$$\therefore \quad m = V_0 . \rho_0$$

ঐ বস্তুটি যখন t°C উষ্ণ হইবে তখন ইহার আয়তন হইবে V_t এবং ধর ঘনত্ব যেন হইল ρ_t প্রতি ঘন সেণ্টিমিটারে। কিন্তু যেহেতু উহার ভর ঠিকই আছে, $m = V\rho_t$

$$\therefore \quad \rho_t V_t = \rho_0 V_0$$

কিন্তু $V_t = V_0(1 + \gamma t)$

$$\therefore \quad V_0 (1 + \gamma t) \rho_t = V_0 . \rho_0$$

অথবা $\rho_t (1 + \gamma t) = \rho_0$

এবং $\rho_t = \dfrac{\rho_0}{1 + \gamma t} = \dfrac{\rho_0(1 - \gamma t)}{(1 - \gamma^2 t^2)} = \rho_0(1 - \gamma t)$ প্রায়

γ অতি ক্ষুদ্র রাশি বলিয়া $\gamma^2 t^2$, 1 এর সহিত তুলনায় নগণ্য। ∴ $1 - \gamma^2 t^2 = 1$ লিখা হইল।

দৈর্ঘ্য প্রসারণের গুণাঙ্কের একক সম্পর্কে মাপিবার প্রণালী পরিবর্তন সম্পর্কিত যে সকল মন্তব্য করা হইয়াছে আয়তনের প্রসারণের গুণাঙ্কের সম্পর্কেও সেই সকল মন্তব্য প্রযোজ্য।

অর্থাৎ, আয়তনের একক পরিবর্তন করিলে আয়তনের প্রসারণের গুণাঙ্কের মান পরিবর্তন হইবে না কিন্তু উষ্ণতা মাপিবার জন্য থার্মমিটারের স্কেল পরিবর্তন করিলে ঐ গুণাঙ্ক পরিবর্তিত হইবে।

কঠিনের তিন প্রকার প্রসারণের গুণাঙ্কের সহিত সম্পর্ক ঃ

মনে কর, একটি সমতল বর্গক্ষেত্রের দৈর্ঘ্য ও প্রস্থ 0°C উষ্ণতায় l_0 সে. মি.। ইহার ক্ষেত্রফল হইবে l_0^2 বর্গ সে. মি.। উহাই S_0 $\therefore S_0 = l_0^2$,

এখন উহা t°C পর্যন্ত গরম করিলে প্রত্যেক দিকের দৈর্ঘ্য হইবে l_t, কিন্তু

$l_t = l_0(1+\alpha t)$

$\therefore$ উত্তপ্ত অবস্থায় উহার ক্ষেত্রফল হইবে

$l_t^2 = l_0^2(1+\alpha t)^2$, উহাই আবার S_t

$$\therefore S_t = l_0^2(1+\alpha t)^2$$
$$= S_0(1+\alpha t)^2$$

কিন্তু $S_t = S_0(1+\beta t)$

$$\therefore S_0(1+\alpha t)^2 = S_0(1+\beta t)$$
$$1+2\alpha t+\alpha^2 t^2 = 1+\beta t$$
$$\therefore 2\alpha t+\alpha^2 t^2 = \beta t$$

α একটি ক্ষুদ্র ভগ্নাংশ; উহাকে বর্গ করিলে α^2 খুবই নগণ্য হইবে।* সুতরাং $\alpha^2 t^2$ নগণ্য মনে করিয়া লেখা চলে।

$$2\alpha t = \beta t$$
$$\therefore 2\alpha = \beta.$$

আবার যদি ঐ বস্তুর এমন একটি ঘনক লওয়া হয় যাহার দৈর্ঘ্য, প্রস্থ এবং উচ্চতা 0°C উষ্ণতায় l_0 সে. মি. তবে উহার আয়তন হইবে l_0^3 এবং ইহাই V_0

$$V_0 = l_0^3.$$

উষ্ণতা t°C হইলে প্রত্যেক দিকে l_0 বাড়িয়া $l_0(1+\alpha t)$ হইবে। সুতরাং উষ্ণ অবস্থায় আয়তন হইবে $l_0^3(1+\alpha t)^3$ এবং ইহা আবার V_t-র সমান;

* লোহার $\alpha = \cdot000012$; $\alpha^2 = \cdot000000000144$
$\therefore$ যদি $t = 100$ ডিগ্রি C হয় তবে $\alpha t = \cdot0012$ এবং
$\alpha^2 t^2 = \cdot00000144$ $\therefore$ $\alpha^2 t^2$, αtর তুলনায় নগণ্য।

$$\therefore \quad V_t = l_0{}^3(1+\alpha t)^3 = V_0(1+\alpha t)^3$$

কিন্তু $V_t = V_0(1+\gamma t)$

$$\therefore \quad V_0(1+\alpha t)^3 = V_0(1+\gamma t)$$

$$1+3\alpha^2 t^2 + 3\alpha t + \alpha^3 t^3 = 1+\gamma t$$

$\alpha^2 t^2$ এবং $\alpha^3 t^3$ নগণ্য বলিয়া লেখা চলে

$$1+3\alpha t = 1+\gamma t \quad \therefore \quad 3\alpha t = \gamma t$$

অথবা, $3\alpha = \gamma$ সুতরাং আমরা পাইলাম,

$$\gamma = 3\alpha \;; \quad \beta = 2\alpha$$

$$\therefore \; \alpha = \frac{\gamma}{3} \quad \alpha = \frac{\beta}{2} \quad \alpha = \frac{\alpha}{1}$$

$$\therefore \quad \frac{\alpha}{1} = \frac{\beta}{2} = \frac{\gamma}{3}.$$

দৈর্ঘ্য প্রসারণের গুণাঙ্ক সম্বন্ধে একটি জ্ঞাতব্য কথা :

মনে কর একটি দণ্ডের দৈর্ঘ্য 0°C উষ্ণতায় l_0, এবং
room temperature বা বায়ুর উত্তাপ t_1°C উষ্ণতায় l_1 এবং
উহাকে গরম করিবার পর t_2°C উষ্ণতায় l_2.

তাহা হইলে $l_1 = l_0(1+\alpha t_1)$

$$l_2 = l_0(1+\alpha t_2)$$

$$\therefore \quad \frac{l_2}{l_1} = \frac{l_0(1+\alpha t_2)}{l_0(1+\alpha t_1)} = \frac{1+\alpha t_2}{1+\alpha t_1}$$

$$\frac{l_2}{l_1} - 1 = \frac{1+\alpha t_2}{1+\alpha t_1} - 1$$

অথবা $$\frac{l_2 - l_1}{l_1} = \frac{\alpha(t_2 - t_1)}{1+\alpha t_1}.$$

$$\therefore \quad \frac{\alpha}{1+\alpha t_1} = \frac{l_2 - l_1}{l_1(t_2 - t_1)}.$$

এখন α খুব ক্ষুদ্র সংখ্যা বলিয়া α কে 1 দ্বারা ভাগ করিলে যত হইবে $1+\alpha t_1$ দ্বারা ভাগ করিলেও প্রায় ততই হইবে ধরা যায়।*

* উদাহরণস্বরূপ পিতলের দৈর্ঘ্য প্রসারণের গুণাঙ্কের কথা ধর। ঐ গুণাঙ্ক α = ·000018 প্রতি ডিগ্রি C-এ। ঘরের উষ্ণতা 30°ডিগ্রি C হইলে

$\therefore \; \alpha t_1 = \text{·}00054$ এবং $\dfrac{\alpha}{1+\alpha t_1} = \dfrac{\text{·}000018}{1\text{·}00054} = \text{·}00001799$; প্রকৃত α হইতে ইহা ·00000001 কম হইল।

$$\text{সুতরাং } \alpha = \frac{l_2 - l_1}{l_1(t_2 - t_1)}$$

$$= \frac{\text{দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি}}{\text{ঘরের উষ্ণতায় প্রাথমিক দৈর্ঘ্য} \times \text{উষ্ণতা বৃদ্ধি}}$$

অর্থাৎ, দণ্ডটির প্রাথমিক উষ্ণতা 0°C না ধরিয়াও আমরা α নির্ণয় করিতে অগ্রসর হইতে পারি।

[**দ্রষ্টব্য :** পরে আমরা গ্যাসের আয়তন প্রসারণের গুণাঙ্ক সম্পর্কে আলোচনা করিব। সে স্থলে প্রাথমিক আয়তন সর্বদা 0°C-এ যাহা হয় তাহাই ধরিতে হইবে, কারণ গ্যাসের আয়তন প্রসারণের গুণাঙ্ক পিতলের দৈর্ঘ্যের প্রসারণের গুণাঙ্ক অপেক্ষা 200 গুণ বেশী।]

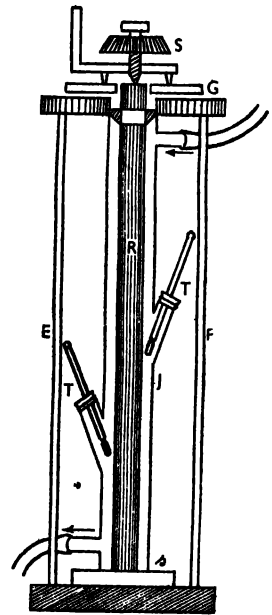
*1.22. কোন বস্তুর দৈর্ঘ্য প্রসারণের গুণাঙ্ক নির্ণয় :

পুলিঞ্জারের যন্ত্র দ্বারা (Determination of the co-efficient of linear expansion by Pullinger's Apparatus) :

যে বস্তুর দৈর্ঘ্য প্রসারণের গুণাঙ্ক নির্ণয় করিতে হইবে তাহার একটি দণ্ড লও। উহার দৈর্ঘ্য এক মিটারের কম না হওয়াই বাঞ্ছনীয়। দণ্ডটির দৈর্ঘ্য একটি মিটার স্কেল দ্বারা ভালরূপে মাপিয়া লও। উহা ঘরের উষ্ণতায় দণ্ডের প্রাথমিক দৈর্ঘ্য বা l_1 হইল।

পুলিঞ্জারের যন্ত্র

মাটিতে মার্বেল পাথরের বা লোহার একখানা চেপ্‌টা টুকরা রাখিয়া উহার উপর দণ্ডটিকে খাড়া-ভাবে দাঁড় করাইয়া রাখ। ইহাকে এখন একটি ঠিক মাপের ষ্টীম জ্যাকেট দ্বারা ঘিরিয়া লও; ঐ ষ্টীম জ্যাকেটের উপর দিকে একটি এবং নীচের দিকে একটি থার্মমিটার বসাইবার ব্যবস্থা আছে। ষ্টীম জ্যাকেটের উপর দিকে উহার মধ্যস্থ দণ্ডটির সামান্য একটু অংশ মাত্র জাগিয়া থাকে।

জ্যাকেটের তিন দিকে একটা কাঠের ফ্রেম থাকে। উহার উপর অনুভূমিকভাবে একখানা পুরু কাঁচের প্লেট G বসানো হয়; ঐ কাঁচের প্লেটের মধ্যস্থলে একটি ছিদ্র আছে, উহা দণ্ডের বরাবর উপরে থাকে

ঐ কাঁচখানার উপর একটি স্ফেরোমিটার যন্ত্র S এমনভাবে বসাও যে উহার মধ্যের স্ক্রুটি কাঁচের ছিদ্রের ভিতর দিয়া কাঁচ স্পর্শ না করিয়া উঠানামা করিতে পারে।

স্ফেরোমিটারের স্ক্রু ঘুরাইয়া স্ক্রু-এর অগ্রভাগ দণ্ডের প্রান্ত স্পর্শ করাও। ঐ অবস্থায় স্ফেরোমিটারের রিডিং বা পাঠ লইতে হইবে। স্ফেরোমিটারের পাঠ লইবার পর স্ক্রু আবার উন্টাদিকে ঘুরাইয়া উপরে তুলিয়া রাখিতে হইবে।

এখন স্টীম জ্যাকেটের থার্মমিটার দুইটির পাঠ লও। উহাদের গড় উষ্ণতা t_1 °C ঘরের উষ্ণতা।

ইহার পর ষ্টীম জ্যাকেটে ষ্টীম পাঠাইয়া উহাকে গরম কর। যখন উপরের ও নীচের থার্মমিটারে আর উষ্ণতার পরিবর্তন হইবে না, তখন ঐ দুই উষ্ণতা পড়িয়া উহাদের গড় নির্ণয় কর। ঐ গড উষ্ণতা t_2 °C.

ঐ অবস্থায় স্ফেরোমিটারের স্ক্রু ঘুরাইয়া উহার প্রান্ত দণ্ডের উপরের প্রান্তের সহিত ঠেকাইয়া দাও। দণ্ডের দৈর্ঘ্য এখন একটু বাড়িয়াছে এবং দণ্ড নীচের দিকে বাড়িতে না পারায় উপর দিকেই বাডিয়াছে। (ফার্গুসনের পরীক্ষার কথা স্মরণ কর।)

সুতরাং স্ফেরোমিটারের পাঠ এখন আগের চেয়ে ভিন্ন হইবে। ঐ পাঠ লও। এই পাঠ এবং আগের পাঠের পার্থক্য দণ্ডের দৈর্ঘ্য বৃদ্ধির পরিমাণ ($l_2 - l_1$) নির্দেশ করিবে।

এখন আমরা $(l_2 - l_1)$ জানিয়াছি, l_1 আগে মাপা হইয়াছে এবং t_2 আর t_1-ও জানা হইয়াছে। সুতরাং,

$$\alpha = \frac{(l_2 - l_1)}{l_1(t_2 - t_1)}.$$

এই সমীকরণের ডান দিকের রাশিগুলি জানা থাকায় α হিসাব করিয়া বাহির করা যাইবে।

α সাধারণত প্রতি ডিগ্রি সেন্টিগ্রেডে কত তাহাই লিখিত হয়। যথা পিতলের α = ·000018/°C অর্থাৎ প্রতি সেন্টিগ্রেডে ·000018.

1.23 কঠিন বস্তুর প্রসারণের ব্যবহারিক প্রয়োগ

(Practical applications of Expansion of Solids) :

(1) কখন কখন দেখা যায় যে শিশি বা বোতলের ছিপি খুব আঁট হইয়া শিশি বা বোতলের মুখে লাগিয়া আছে। ইহাকে খুলিতে হইলে শিশির মুখ

বাহিরের দিকে একটু গরম করিলেই মুখটা আয়তনে অতি সামান্য বাড়ে এবং ছিপি সহজে খুলিয়া যায়। যদি ঢাক্‌নি দিয়া শিশির মুখ বন্ধ থাকে তবে ঐ ঢাকনিটাকেই গরম করিতে হয়। অধিকাংশ ক্ষেত্রে রুমাল দিয়া তাড়াতাড়ি কয়েকবার জোরে ঘসিলেই চলে, নতুবা গরম জলের সাহায্য লওয়া যাইতে পারে।

(2) গরুর গাড়ীর কাঠের চাকা কয়েকটি টুকরা দ্বারা গঠিত। ঐ চাকার পরিধির বাহিরে একটা লোহার বেড শক্ত করিয়া আঁটা থাকে। ঐ বেড় চাকায় পরাইবার সময় বেড়টিকে গরম করিয়া পরানো হয়। কাঠের চাকার সমান ব্যাসযুক্ত একটি লোহার বেড় সকল স্থানে সমানভাবে গরম করা হয়। ফলে বেড়টি একটু বড় হয়। তখন চাকাটিকে উহার ভিতরে প্রবেশ করাইয়া জল ঢালিয়া ঐ বেডকে ঠাণ্ডা করা হয়। ঠাণ্ডায় সংকুচিত হইয়া ঐ বেড়টি চাকার উপর আঁটিয়া বসে।

(3) রেল লাইনের পর পর দুই পাটি রেলের মধ্যে একটু ফাঁক রাখা হয়; রৌদ্রের তাপে এবং চাকার ঘর্ষণে লাইন গরম হইয়া দৈর্ঘ্যে বাড়ে; ফাঁক থাকায় একে অপরকে ঠেলিয়া লাইন্ বাঁকাইয়া দিতে পারে না, নতুবা লাইনগুলি বাঁকিয়া যাইত।

ট্রাম লাইন মাটির মধ্যে পোঁতা থাকে এবং লাইনের দুই পাশে শক্ত পাথর দিয়া বাঁধানো; কিন্তু পর পর রেলের পাটিগুলির মধ্যে ফাঁক রাখা হয় না। উষ্ণতার পার্থক্যে যতটা বল উদ্ভূত হয়, রাস্তার শক্ত গাঁথুনি তাহা প্রতিরোধ করিতে পারে, তাই লাইন বাঁকিয়া যায় না।

(4) কখন কখন লোহার ফ্রেম (frame) যুক্ত দালান তৈয়ারী হওয়ার পর দেখা যায় যে উপর দিকে দুই বিপরীত দেওয়াল ঠিক উল্লম্ব হয় নাই এবং বাহিরের দিকে কাত হইয়া আছে। তখন দুই বিপরীত দেওয়ালের উপর দিয়া বড় বড় লোহার বীম গাঁথিয়া বীমগুলিকে খুব গরম করা হয়। বীম গরম অবস্থায় বীমের যে দুই প্রান্ত দেওয়ালের বাহিরে থাকে সেই দুই প্রান্তে দেওয়ালের গায়ে ওয়াশার বসাইয়া স্ক্রু আটকাইয়া দেওয়া হয়। পরে দণ্ডগুলি ঠাণ্ডা হইলে সংকোচনের সময় দুই দেওয়ালের উপরের অংশকে টানিয়া পরস্পরের নিকটবর্তী করে।

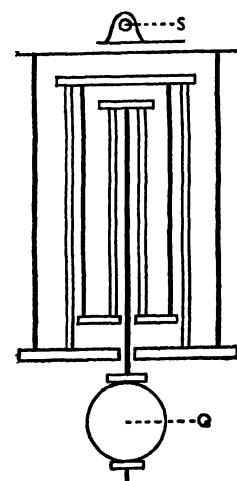
(5) লোহার তৈরী কেন্টিলিভারের সেতুগুলি একদিকে আটকানো থাকে এবং অপরদিকের প্রান্ত রোলারের উপর থাকে এবং ঐ রোলার যাহাতে কিছুদূর দুইদিকে যাতায়াত করিতে পারে তাহার ব্যবস্থা থাকে। গ্রীষ্মকালে সেতু দৈর্ঘ্যে বাড়িলে রোলার সমেত ঠেলিয়া অগ্রসর হয়।

(6) মোটা কাঁচের গ্লাসে খুব গরম জল ঢালিলে কাঁচ ফাটিয়া যায় ; কারণ কাঁচ তাপের সুপরিবাহী নহে, অর্থাৎ কাঁচের ভিতর দিয়া অল্প সময়ে বেশী তাপ যাইতে পারে না, তাই ভিতর গরম হইয়া আয়তনে বাড়ে কিন্তু বাহিরের দিক গরম না হওয়ায় প্রসারণে যে বল উৎপন্ন হয় তাহাতে কাঁচ ফাটিয়া যায়।

(7) ধাতব স্কেলে যে দাগ কাটা থাকে তাহা এক বিশিষ্ট উষ্ণতায় সঠিক দৈর্ঘ্য নির্দেশ করে ; শীত ও গ্রীষ্মে দুই দাগের মধ্যবর্তী স্থান সংকুচিত ও প্রসারিত হয় সুতরাং ব্যারোমিটারের স্কেলে পারদ-স্তম্ভের উচ্চতা নির্ণয় করিলে উহার উষ্ণতা জানিয়া ঐ দৈর্ঘ্য সংশোধন করিতে হয়।

(8) দেওয়াল ঘড়ির দোলকে সাধারণত ধাতব দণ্ড দ্বারা পিণ্ডটি ঝুলানো থাকে। শীত ও গ্রীষ্মে বায়ুর উষ্ণতা কম বেশী হয় ; ফলে দোলকের দৈর্ঘ্য কমে ও বাড়ে এবং ঘড়ি শীতকালে ফাস্ট চলে এবং গ্রীষ্মে স্লো হয়।

বিভিন্ন ধাতুর একাধিক দণ্ড ব্যবহার করিয়া এমন ব্যবস্থা করা যাইতে পারে যে তাহার ফলে শীত ও গ্রীষ্মের পরিবর্তনেও ঘড়ি সঠিক সময় জ্ঞাপন করিবে। ঐরূপ সংশোধিত দোলককে **প্রতিবিহিত দোলক** বলে।

* **হ্যারিসনের প্রতিবিহিত দোলক :** ইহাতে চিত্রে প্রদর্শিত মতে 4টি পিতলের দণ্ড এবং 5টি লোহার দণ্ড ব্যবহার করিয়া এমনভাবে ফ্রেমে আবদ্ধ করা হইয়াছে যে লোহার দণ্ডগুলি নীচের দিকে এবং পিতলের দণ্ডগুলি উপর দিকে বাড়িতে পারে। দণ্ডগুলির দৈর্ঘ্য এমনভাবে হিসাব করিয়া দেওয়া হইয়াছে যে একদিকের দুইটি এবং মধ্যস্থলের একটি এই তিনটি লোহার দণ্ড বাড়িয়া দোলকের দোলন বিন্দুকে যত নীচে লইয়া যাইবে প্রত্যেক দিকের দুইটি পিতলের দণ্ড উপর দিকে বাড়িয়া দোলন বিন্দুকে ঠিক ততটা উপরে তুলিয়া দিবে।

হ্যারিসনের প্রতিবিহিত দোলক ; S—আশ্রয় বিন্দু, O—দোলন বিন্দু

দুই দিকের প্রত্যেক প্রকার এক জোড়া দণ্ডের বৃদ্ধি যত, এক দিকের একটি দণ্ডের বৃদ্ধিও তত। সুতরাং ঐ প্রতিবিহিত দোলকের তিনটি লোহার দণ্ডের প্রসারণ যত, দুইটি পিতলের দণ্ডের প্রসারণও তত হইবে।

যদি তিনটি লোহার দণ্ডের দৈর্ঘ্য l_1 হয় এবং

দুইটি পিতলের দণ্ডের দৈর্ঘ্য l_2 হয় তবে প্রতি ডিগ্রি সেণ্টিগ্রেডে লোহার দণ্ডের বৃদ্ধি হইবে $l_1 \times \cdot 000012$ এবং পিতলের দণ্ডের বৃদ্ধি হইবে $l_2 \times \cdot 000018$.

কিন্তু ঐ দুই প্রসারণ সমান। অতএব,

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{18}{12} = \frac{3}{2}.$$

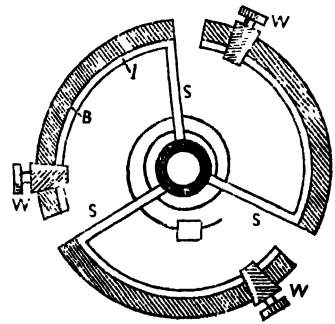
সম্প্রতি ইন্‌ভার নামক ইস্পাত ও নিকেলের তৈয়ারী এক সংকর ধাতু প্রস্তুত হইয়াছে। উহার দৈর্ঘ্য প্রসারণের গুণাঙ্ক খুবই কম ($\cdot 0000009/^\circ C$) সুতরাং ঐ ধাতুর দণ্ড দ্বারা দোলক ঘড়ির দোলক ঝুলাইলে শীত ও গ্রীষ্মের পরিবর্তনে উহার দৈর্ঘ্যের যে পরিবর্তন ঘটে তাহা এত নগণ্য যে, ইহার ফলে দেওয়াল ঘড়ির সময়ের বিশেষ তারতম্য হয় না।

হাত ঘড়ি বা পকেট ঘড়ির ব্যাল্যান্স হুইল (Balance Wheel) :

ছোট ঘড়ির ব্যাল্যান্স হুইল-এর নীচে হেয়ার স্প্রিং থাকে। ব্যাল্যান্স হুইল ক্রমাগত ঘড়ির কাঁটার ঘূর্ণনের দিকে এবং বিপরীত দিকে এদিকে সেদিকে অল্প ঘুরিয়া সময় রক্ষা করে।

ইহার বৃত্তাকার চাকাটি প্রকৃতপক্ষে তিনটি পৃথক অংশে বিভক্ত। প্রত্যেক অংশ আবার দুই প্রকার ধাতুর দুইখানা পাত দ্বারা প্রস্তুত—যে ধাতুর দৈর্ঘ্য প্রসারণের গুণাঙ্ক অপেক্ষাকৃত বেশী সেই ধাতুর নির্মিত পাত বাহিরের দিকে বসাইয়া ঐ তিনটি বৃত্ত চাপের ন্যায় বস্তু নির্মিত হয়।

ব্যাল্যান্স হুইলের ঐ প্রকার দোলন বা Oscillation উহার কেন্দ্র হইতে পরিধির দূরত্বের উপর নির্ভর করে ; পরিধির ভর যত বেশী দূরত্বে থাকে ঐ দোলনের সময় তত বেশী হয়।

গ্রীষ্মকালে বায়ুর উষ্ণতা বাড়িলে ঐ হুইলের ব্যাস বা ব্যাসার্ধ বাড়িয়া যায় এবং দোলন-সময় বেশী হয়, কিন্তু বৃত্তচাপগুলি দুই প্রকার ধাতুর পাত দ্বারা তৈরী করায়, উহাদের মুক্ত প্রান্ত বাঁকিয়া ঐ হুইলের পরিধির ভিতরে চলিয়া আসে এবং মধ্যস্থল বাহিরে সরিয়া যায়। ঐ বৃত্তচাপগুলির মুক্ত প্রান্তে W ভরের এক একটি রাইডার (rider) বা আরোহী দেওয়া থাকে। বৃত্তচাপগুলির মুক্ত প্রান্ত ভিতরের দিকে আসিবার ফলে W ওজন গুলি ভিতরে চলিয়া আসে এবং ফলে হুইলের বৃত্তচাপের ভর গড়ে কেন্দ্র হইতে সমান দূরে থাকে। ফলে ঐ হুইলের দোলন-সময় সমান থাকে।

(9) জাহাজে যে নলের ভিতর দিয়া স্টীম চলে তাহা স্থানে স্থানে ওমেগার (Ω) আকৃতি অথবা এক পেঁচের কুণ্ডলীর আকৃতি করিয়া রাখা হয়। ইহার ফলে দৈর্ঘ্য বাড়িলে নলের দুই অংশের ফাঁক কমিয়া বাঁকানো অংশকে আরও একটু বাঁকাইয়া দেয়। স্টীম পাইপ অন্যত্র ব্যবহৃত হইলেও প্রসারণের জন্য ঐরূপ ব্যবস্থা করা হয়।

দুইটি স্টীম পাইপ যেরূপ বাঁকানো নল দ্বারা যুক্ত করা হয় উহার দুইটি নমুনা

প্রশ্ন

1. কোন দণ্ডের একদিকে প্রসারণ হইতে না দিলে উহা অপর দিকেই প্রসারিত হয়; ইহা কিভাবে দেখানো যায়?

(How can it be shown that if a rod is prevented from expanding at one end, the full expansion takes place at the other end if free ?)

2 দৈর্ঘ্য প্রসারণের গুণাঙ্কের সংজ্ঞা বল। দৈর্ঘ্য যদি C.G.S. প্রণালীতে অথবা F. P. S. প্রণালীতে মাপা হয় কিন্তু উষ্ণতার প্রভেদ সেন্টিগ্রেডে মাপা হয় তবে ঐ গুণাঙ্কের কোন পার্থক্য হইবে কি? সেন্টিগ্রেডের পরিবর্তে উষ্ণতার প্রভেদ ফারেনহীটে মাপিলে ঐ গুণাঙ্ক পরিবর্তিত হইবে কি? তোমার উত্তরের যুক্তি লিখ।

(Define the co-efficient of linear expansion. If the length is measured in C. G S. or F. P. S. units but the temperature in measured in °C, will the co-efficient change ? If the temperature is measured in Fahrenheit scale in stead of centigrade scale, will the co-efficient change ? Give reasons for your answers.)

3. "পিতলের দৈর্ঘ্য প্রসারণের গুণাঙ্ক প্রতি ডিগ্রি সেন্টিগ্রেডে ·000018" ইহার প্রকৃত অর্থ কি? যদি 100 সে. মি. দীর্ঘ একটি পিতলের দণ্ডকে 0 ডিগ্রি C হইতে 100 ডিগ্রি C পর্যন্ত উষ্ণ করা হয় তবে উহার দৈর্ঘ্য কত হইবে?

("The co-efficient of linear expansion of glass is 000018, what is its real significance ?

If a brass rod of length 100 cm. be heated from 0°C to 100°C, what will be its final length ?) [*Ans*. 100·18 cm]

4. লোহার দৈর্ঘ্য প্রসারণের গুণাঙ্ক ·000012 প্রতি ডিগ্রি সেন্টিগ্রেড। 3 ফুট লোহার দণ্ডকে সকল স্থানে সমানভাবে গরম করিয়া 80 ডিগ্রি F হইতে 212° ফারেনহীট পর্যন্ত উষ্ণ করা হইল। উহার দৈর্ঘ্য কতটুকু বাড়িবে?

(The co-efficient of linear expansion of iron is ·000012 per degree centigrade. If a rod of iron of length 3 ft. be heated uniformly from 80°F to 212°F, what will be its increment in length ?) [*Ans*. ·00264 ft.]

5. পুলিঞ্জারের যন্ত্র দ্বারা কঠিনের দৈর্ঘ্যের প্রসারণের গুণাঙ্ক কিভাবে নির্ণয় করা যায় চিত্র সহ বর্ণনা কর।

(Describe how the co-efficient of linear expansion of soild can be determined by Pullinger's Apparatus. Draw a neat diagram.)

6. কঠিনের দৈর্ঘ্য বৃদ্ধির যে ক্ষেত্রে আমরা সুবিধা পাইয়া থাকি তাহার মধ্যে 2টি এবং যে ক্ষেত্রে অসুবিধা ভোগ করি তাহার মধ্যে 2টির উদাহরণ ব্যাখ্যা কর।

(Give 2 instances where we get advantages and 2 other instances where we suffer inconvenience due to linear expansion of solids.)

Additional Numerical Problems

1. A rod of iron and a rod of brass are each of length 100 cm. at 0°C. If the brass rod is ·06 cm. longer than the iron rod at 100°C and the co-efficient of linear expansion of iron is ·000012 per °C, find that of brass. [*Ans.* ·000018 per °C]

2. A brass scale is correct at 0°C. When its temperature is 100°C, it gave a certain diatance to be equal to 125 inches. What is the true distance. Given co-eff. of linear expansion of brass = ·000018 per °C. [*Ans.* 125·225 inches]

3. A very thin wire of brass is made into a perfect circle of radius 10 cm. What will be its radius when it is heated from 0°C to 100°C ? Given co-efficient of linear expansion of brass = ·000018 per °C. [*Ans.* 10·018 cm.]

4. A steel pipe 10 metres in length at 25°C is used as a steam pipe to carry steam at 100°C. By how much will it be longer while carrying steam ? Given co-eff. of linear expansion of steel = ·000012 per °C. [*Ans.* ·9 cm.]

5. A bar of zinc is 100 cm. long at the room temperature (25°C). What will be its length when kept covered in ice at 0°C for a long time ? Given, the co-efficient of linear expansion of zinc = ·00003 per degree centigrade. [*Ans.* 99·925 cm.]

6. A cube of copper has its sides each equal to 5 cm. at 0°C. What will be its volume at 100°C ? Given co-efficient of linear expansion of copper = ·0000167 per degree centigrade. [*Ans.* 125·626 c.c.]

7. A sphere of brass of radius 10 cm. at 0°C is heated to 300°C. What will be its volume if the co-efficient of linear expansion of brass is ·0001 per °F ? [*Ans.* 4258·36 c.c.]

8. The internal measures of length, breadth and thickness of a hollow iron cube is 50 cm. each at 30°C. What will be the capacity of the vessel when its temperature is raised to 380°C ? Given linear expansion of iron = ·000012 cm. per degree centigrade per cm. [*Ans.* 125126·71 c.c.]

9. The volume of an iron ball of radius 10 cm. increases by 15·072 c. c. when its temperature is raised by 100°C ; calculate the co-efficient of linear expansion of iron. [*Ans.* ·000012 per °C]

10. A cylinder of zinc of radius 5 cm. and length 20 cm. is heated from 0°C to 250°C. Find its increment in volume given linear expansion of zinc = ·00003 per °C. [*Ans.* 35·38 c.c.]

Public Examination Questions

1. Define the term co-efficient of linear expansion of a solid.

How does it depend on the scales of length and temperature used ?

Work out the relation between the co-efficients of linear and cubical expansions of the same solid.

What must be the length of a rod of Zinc at 59°F, if its length is to increase by 5 m.m. when the temperature is raised to 100°C ? (Co-efficient of linear expansion of Zinc = 0·000029 per degree centigrade.) [*Ans.* 202·9 cm.] [H. S. 1960]

2. Define co-efficient of cubical expansion.

If a block of copper be heated, in the solid state, how will its density be affected ?

Establish a mathematical relation between the volumes of a body at a higher and a lower temperature.

A rectangular block of copper ($8'' \times 5'' \times 1''$) at 0°C is heated to 800°C. Calculate the increase in volume.

(Co-efficient of linear expansion for copper = $0·16 \times 10^{-4}$ per degree centigrade.) [*Ans.* 1·54 cubic inches] [H. S. comp. 1961]

3. Brass is more expandible than iron when heated ; Explain.

Describe an experiment in support of the Statement.

Define 'co-efficient of linear expansion'. Find its relation with that of superficial expansion of the same material.

If the co-efficient of linear expansion of brass be ·000018 for a centigrade degree, the length being measured in centimetres, what will be its value for a Fahrenheit degree, if the length be measured in yards ? [*Ans.* ·000010] [H. S. 1962]

4. Define co-efficient of linear expansion.

The co-efficient of linear expansion of brass is 0·000019 per degree centigrade. A brass scale known to be correct at 60°F shows a certain length to be 30 inches when the temperature is 60°C, what is the true length ? [*Ans.* 29·97 inches] [C. U. I. Sc. 1951]

5. Railway lines are laid with gaps to allow for expansion. If the gap between steel lines 66 feet is ·5 inch at 10°C, at what temperature will the lines just touch ? Co-efficient of linear expansion of steel = 11×10^{-6}. [*Ans.* 67·4°C] [C. U. I. Sc. 1953]

6. Define co-efficient of linear expansion of a solid. In what way, if at all, does it depend on the unit of length used and the scales of temperature employed ? [C. U. 1. Sc. 1959]

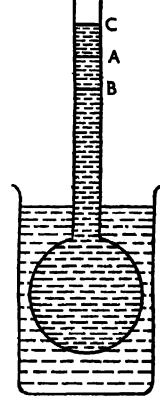
তৃতীয় পাঠ

1.3. তরল বস্তুর প্রসারণ (Expansion of Liquids) ঃ

তরল বস্তু সর্বদা কঠিন বস্তু দ্বারা নির্মিত পাত্রে রাখা হয়। সুতরাং তরলকে তাপ দিতে হইলে আগে পাত্রটি উত্তপ্ত হইবে এবং পরে উহার মধ্যস্থ তরল উত্তপ্ত হয়। এ সম্পর্কে প্রথম পাঠে পরীক্ষা করা হইয়াছে।

আমরা দেখিয়াছি নলের তরল প্রথমে একটু নামিয়া আসে এবং পরে আগের দাগ অপেক্ষাও বেশী উপরে উঠে। যদি পাত্র বড় না হয় বা নল সরু না হয় তবে হয়ত প্রথমেই যে তরল একটু নামিয়া যায় তাহা আমরা লক্ষ্যই করিতে পারিব না। নলের যেখানে প্রথমে দাগ দেওয়া হইয়াছিল সেই স্থান হইতে শেষে তরল যে দাগ পর্যন্ত উপরে উঠিয়াছে তাহাই আমরা তরলের আয়তন বৃদ্ধি বলিয়া ধরিয়া লইব।

আপাত প্রসারণ এবং প্রকৃত প্রসারণ

যদি ধরা যায় যে নলের জল প্রথমে A দাগ হইতে B দাগে নামিয়া পরে আবার C দাগে উঠিয়াছে তবে BC প্রকৃত প্রসারণ (real expansion) এবং AC দৃশ্যত প্রসারণ (apparent expansion) বা আপাত প্রসারণ এবং AB পাত্রের আয়তনের প্রসারণ।

সুতরাং প্রকৃত প্রসারণ = আপাত প্রসারণ + পাত্রের প্রসারণ।

পাত্রের প্রসারণ যদি আমরা কোন ক্ষেত্রে না ধরি তবে ঐ পাত্রে তরল থাকা অবস্থায় যতটা প্রসারণ লক্ষ্য করা যায় তাহাই আপাত প্রসারণ।

1.31. তরলের প্রকৃত প্রসারণের গুণাঙ্ক (Co-efficient of Real Expansion of a Liquid) ঃ

প্রতি ডিগ্রি উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য প্রতি একক আয়তন তরল প্রকৃতপক্ষে যতটা বৃদ্ধি পায় তাহাই ঐ তরলের প্রকৃত প্রসারণের গুণাঙ্ক ; প্রাথমিক আয়তন 0°C উষ্ণতায় মাপা আবশ্যক।

মনে কর $V_0 = 0°C$ উষ্ণতায় তরলের প্রকৃত আয়তন।

$V_t = t°C$ „ „ প্রকৃত আয়তন।

তাহা হইলে γ তরলের প্রকৃত প্রসারণের গুণাঙ্ক

$$\gamma = \frac{V_t - V_0}{V_0 \times t}$$

অথবা $V_t - V_0 = \gamma V_0 t$

$= t^\circ C$ উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য তরলের আয়তন বৃদ্ধি।

1.31. (a) তরলের আপাত প্রসারণের গুণাঙ্ক (Coefficient of Apparent Expansion of a Liquid) ঃ

প্রতি ডিগ্রি উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য প্রতি একক আয়তন তরল দৃশ্যত যতটা বৃদ্ধি পায় তাহাই ঐ তরলের আপাত প্রসারণের গুণাঙ্ক। তরলের প্রাথমিক প্রকৃত আয়তন $0^\circ C$ উষ্ণতায় মাপা আবশ্যক।

মনে কর $V_0 = 0^\circ C$ উষ্ণতায় তরলের প্রকৃত আয়তন।

$V'_t = t^\circ C$ „ „ আপাত আয়তন।

তাহা হইলে γ' বা তরলের আপাত প্রসারণের গুণাঙ্ক

$$\gamma' = \frac{V'_t - V_0}{V_0 \times t}$$

$V'_t - V_0 = V_0 \gamma' t$ আপাত আয়তন বৃদ্ধি

1.32. তরলের প্রকৃত প্রসারণের গুণাঙ্ক এবং আপাত প্রসারণের গুণাঙ্কের মধ্যে সম্পর্ক (Relation between Real and Apparent expansions of a Liquid) ঃ

মনে কর তরলের V_0 আয়তন $0^\circ C$ উষ্ণতায় একটি পাত্রে ছিল, অবশ্যই পাত্রের উষ্ণতাও $0^\circ C$ ছিল। এখন উষ্ণতা $t^\circ C$ বৃদ্ধি পাওয়ার ফলে পাত্রের আয়তন বৃদ্ধি হইবে $V_0 gt$, g পাত্র যে বস্তু দ্বারা নির্মিত তাহার আয়তন প্রসারণের গুণাঙ্ক। এবং তরলের প্রকৃত আয়তন বৃদ্ধি হইবে $V_0 \gamma t$ এবং দৃশ্যত বা আপাত আয়তন বৃদ্ধি হইবে $V_0 \gamma' t$.

কিন্তু আমরা জানি

প্রকৃত আয়তন বৃদ্ধি = আপাত আয়তন বৃদ্ধি + পাত্রের আয়তন বৃদ্ধি।

$\therefore \quad V_0 \gamma t = V_0 \gamma' t + V_0 g t$

$\therefore \quad \gamma = \gamma' + g$

অর্থাৎ, প্রকৃত প্রসারণের গুণাঙ্ক = আপাত প্রসারণের গুণাঙ্ক + পাত্রের আয়তন প্রসারণের গুণাঙ্ক।

অঙ্ক ঃ গ্লিসারিণ কাঁচ পাত্রে থাকিলে উহার আপাত প্রসারণের গুণাঙ্ক ·0005033 হয়; কাঁচের দৈর্ঘ্যের প্রসারণের গুণাঙ্ক ·0000089. গ্লিসারিণের প্রকৃত প্রসারণের গুণাঙ্ক নির্ণয় কর।

কাঁচের দৈর্ঘ্যের প্রসারণের গুণাঙ্ক = ·0000089

∴ „ আয়তন „ = ·0000089 × 3

= ·0000267

= g

আমরা জানি

$$\gamma = \gamma' + g$$

$$= \cdot0005033 + \cdot0000267$$

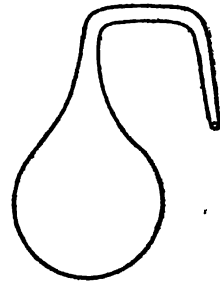
= ·00053 প্রতি °C.

সুতরাং তরলের আপাত প্রসারণের গুণাঙ্ক নির্ণয় করিলে আমরা উহার প্রকৃত প্রসারণের গুণাঙ্ক পাইতে পারি।

1.33. তরলের আপাত প্রসারণের গুণাঙ্ক নির্ণয় (Determination of the Apparent Expansion of a Liquid) ঃ

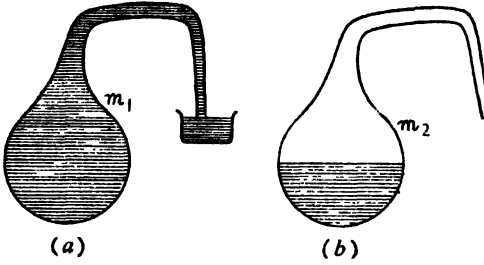
ওয়েট থার্মমিটার দ্বারা (By Weight Thermometer)—একটি কাঁচের বড় বাল্‌বের উপরের দিক সরু নলের মত হইয়া বাঁকিয়া গিয়াছে। ঐরূপ একটি কাঁচের বাল্‌বকে ওয়েট থার্মমিটার বলে।

পরীক্ষা ঃ প্রথমে ওয়েট থার্মমিটারটি খালি অবস্থায় ওজন করিয়া উহার ভরের মান লিখিয়া রাখ এবং উহার খোলামুখ প্রদত্ত তরলের পাত্রে ডুবাইয়া দাও।

এখন কুণ্ডটিকে ক্রমান্বয়ে গরম ও ঠাণ্ডা করিতে থাকিলে ঐ কুণ্ড এবং নল সম্পূর্ণরূপে তরল দ্বারা পূর্ণ হইবে। উহাকে ঐ অবস্থায় (খোলামুখ তরলের পাত্রে ডুবানো অবস্থায়) বায়ুর উষ্ণতা পর্যন্ত ঠাণ্ডা হইতে দাও। ঠাণ্ডা হইলে উহাকে তুলিয়া নিয়া ওজন কর। এই ওজন হইতে খালি ওয়েট থার্মমিটারের ওজন বিয়োগ করিলে যে ভরের তরল, ঘরের উষ্ণতায় ওয়েট থার্মমিটারটি পূর্ণ করে তাহার মান পাওয়া যাইবে। মনে কর ঐ তরলের ভার m_1 গ্র্যাম ; এবং উষ্ণতা t_1°C.

ওয়েট থার্মমিটার

যদি t_1°C উষ্ণতায় তরলের ঘনত্ব প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে ρ গ্র্যাম হয় তবে ঐ পরিমাণ তরলের আয়তন বা ওয়েট থার্মমিটারের আয়তন $\frac{m_1}{\rho}$ ঘন সে.মি. হইবে।

এখন একটি ফুটন্ত জলের পাত্রে কুণ্ড ও নলের যত অংশ সম্ভব ডুবাইয়া রাখ এবং খোলা মুখ প্রদত্ত তরলের পাত্রে ডুবাইয়া রাখ। অনেকক্ষণ ঐভাবে থাকিলে

ওয়েট থার্মমিটারে ফুটন্ত জলের উষ্ণতায় (t_2°C) প্রদত্ত তরল যতটা থাকিতে পারে তাহার অতিরিক্ত তরল বাহির হইয়া আসিবে—যদিও থার্মমিটারটি তখনও ঐ উষ্ণতায় তরল দ্বারা পূর্ণ থাকিবে।

(a) ঠাণ্ডা অবস্থায় পাত্রে যত পারদ ধরে
(b) এখন উহাতে t_1 ডিগ্রি C-এ যে m_2 পারদ আছে তাহাই t_2 ডিগ্রি C-এ পাত্র পূর্ণ করিবে

অনেকক্ষণ পরে থার্মমিটার টিকে তুলিয়া আনিয়া ঠাণ্ডা হইতে দাও। ঐ সময়ে ওয়েট থার্মমিটারের খোলা মুখ তরলের পাত্রে আর ডুবাইয়া রাখিবে না। তরল এবং ওয়েট থার্মমিটার ঠাণ্ডা হইয়া ঘরের উষ্ণতায় (t_2°C) আসিলে আবার উহাকে ওজন কর। খালি থার্মমিটারের ওজন বাদ দিয়া যে ওজন পাওয়া যাইবে তাহা m_2 হইলে ঐ m_2 ভরের তরলের আয়তন হইবে $\frac{m_2'}{\rho}$ ঘন সে. মি.।

এখন মনে কর ওয়েট থার্মমিটারটির (b) অবস্থায় আবার ফুটন্ত গরম জলে ডুবানো হইল। তাহা হইলে এই তরলটুকুই আবার গিয়া ওয়েট থার্মমিটারটি পূর্ণ করিবে। অর্থাৎ, $\frac{m_2}{\rho}$ আয়তনের তরল যাহা ঘরের উষ্ণতা t_1°C-এ আছে, তাহাই যখন ফুটন্ত জলের উষ্ণতা t_2°C-এ লইয়া যাওয়া হইতেছে তখন $\frac{m_1}{\rho}$ আয়তন (ওয়েট থার্মমিটারের সম্পূর্ণ আয়তন) দখল করিতেছে।

সুতরাং ওয়েট থার্মমিটারের আয়তন বৃদ্ধির কথা বিচার না করিলে, অর্থাৎ যদি আমরা আপাত প্রসারণের গুণাঙ্ক চাই, তবে

$$\gamma' = \frac{\text{আপাত আয়তন বৃদ্ধি}}{\text{প্রাথমিক আয়তন} \times \text{উষ্ণতা বৃদ্ধি}}$$

$$= \frac{\frac{m_1}{\rho} - \frac{m_2}{\rho}}{\frac{m_2}{\rho} \times (t_2 - t_1)}$$

$$= \frac{m_1 - m_2}{m_2(t_2 - t_1)}$$

$$= \frac{\text{বহিষ্কৃত তরলের ভর}}{\text{যে ভরের তরল রহিল} \times \text{উষ্ণতা বৃদ্ধি}}.$$

অঙ্ক ঃ একটি ওয়েট থার্মমিটারে 0°C উষ্ণতায় 24 গ্র্যাম পারদ ধরে। উহাকে 100°C পর্যন্ত গরম করিলে 23·622 গ্র্যাম পারদ উহার মধ্যে থাকে। পারদের প্রকৃত প্রসারণের গুণাঙ্ক প্রতি °C-এ ·00018 হইলে ওয়েট থার্মমিটারের পাত্র যে বস্তু দ্বারা তৈয়ারী তাহার দৈর্ঘ্য প্রসারণের গুণাঙ্ক নির্ণয় কর। [C. U. I. Sc.]

এখানে $m_1 = 24$ গ্র্যাম $m_2 = 23{\cdot}622$ গ্র্যাম

$$\therefore \quad m_1 - m_2 = {\cdot}378 \text{ গ্র্যাম}$$

$$t_1 = 0°C \qquad t_2 = 100°C \qquad \therefore \quad t_2 - t_1 = 100$$

$$\therefore \quad \gamma' = \frac{{\cdot}378}{23{\cdot}622 \times 100} = {\cdot}0001604.$$

যদি ওয়েট থার্মমিটার যে বস্তু দ্বারা নির্মিত তাহার আয়তন প্রসারণের গুণাঙ্ক g হয়, তবে $\gamma = \gamma' + g$ অথবা $g = \gamma - \gamma' = {\cdot}00018 - {\cdot}0001604 = {\cdot}0000196$

$$\therefore \quad \text{দৈর্ঘ্যের প্রসারণের গুণাঙ্ক } \frac{g}{3} = {\cdot}00000653/°C.$$

1.34. সরাসরি তরলের (পারদের) প্রকৃত প্রসারণের গুণাঙ্ক নির্ণয় (Direct method of determination of Real Expansion of Mercury by Dulong and Petit's Method) :

U আকৃতির একটি নল খাড়াভাবে দাঁড় করানো আছে। উহার দুইদিকের খাড়া নলগুলি দুইটি কাঁচের জ্যাকেট টিউবের মধ্যে থাকে। একটি জ্যাকেট টিউবে ঠাণ্ডা জল পাঠানো হয় এবং অপরটির মধ্যে স্টীম পাঠানো হয়।

ডুলং ও পেটিটের যন্ত্র দ্বারা পারদের প্রকৃত প্রসারণের গুণাঙ্ক নির্ণয়

U-নলে পারদ (যে তরলের প্রকৃত প্রসারণের গুণাঙ্ক নির্ণেয়) লওয়া হইল। প্রথমে দুই জ্যাকেটের উষ্ণতা যখন একই থাকিবে তখন উভয় নলে পারদ একই উচ্চতায় উঠিবে। যদি ডানদিকের জ্যাকেটে স্টীম পাঠানো হয় এবং বামদিকের জ্যাকেটে ঠাণ্ডা জল পাঠানো হয় তবে দুই জ্যাকেটের উষ্ণতা যথাক্রমে t_2°C এবং t_1°C হইলে ডানদিকের পারদ-স্তম্ভ h_2 এবং বামদিকের পারদ-স্তম্ভ h_1 উচ্চতায় থাকিবে।

কিন্তু যেহেতু U-নলের এক অনুভূমিক রেখায় সংযুক্ত তরলের চাপ সমান, সেই কারণে অনুভূমিক নলের ডান প্রান্তে প্রযুক্ত পারদ-স্তম্ভের চাপ = অনুভূমিক নলের বাম প্রান্তে প্রযুক্ত পারদ-স্তম্ভের চাপ।

প্রতি বর্গ সেন্টিমিটারে $h_2\rho_2$ গ্র্যাম-ভার = প্রতি বর্গ সেন্টিমিটারে $h_1\rho_1$, গ্র্যাম-ভার।

$$\therefore \quad h_2\rho_2 = h_1\rho_1.$$

এখানে t_2°C উষ্ণতায় পারদের ঘনত্ব প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে ρ_2 এবং t_1°C উষ্ণতায় পারদের ঘনত্ব প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে ρ_1 ধরা হইয়াছে।

$$\therefore \quad \frac{h_2\rho_0}{1+\gamma t_2} = \frac{h_1\rho_0'}{1+\gamma t_1}$$

$$\therefore \quad h_2 + \gamma h_2 t_1 = h_1' + h_1\gamma t_2$$

$$\therefore \quad \gamma(h_1 t_2 - h_2 t_1) = h_2 - h_1$$

$$\gamma = \frac{h_2 - h_1'}{h_1 t_2 - h_2 t_1}.$$

সুতরাং দুই নলে পারদ-স্তম্ভের উচ্চতা এবং দুই নলের উষ্ণতা জানিয়া আমরা পারদ (বা অন্য তরলের) γ বা প্রকৃত প্রসারণের গুণাঙ্ক নির্ণয় করিতে পারিব।

1.35. নির্দিষ্ট আয়তনের ডাইলেটোমিটার (Constant volume Dilatometer) ঃ

কাঁচের দৈর্ঘ্য প্রসারণের গুণাঙ্ক ·0000089/°C

∴ কাঁচের আয়তন প্রসারণের গুণাঙ্ক

= 3 × ·0000089

= ·0000269

= ·000027/°C.

পারদের আয়তন প্রসারণের গুণাঙ্ক = ·00018/°C.

সুতরাং $\dfrac{\text{পারদের আয়তন প্রসারণের গুণাঙ্ক}}{\text{কাঁচের আয়তন প্রসারণের গুণাঙ্ক}} = \dfrac{20}{3}$ (বা প্রায় 7 গুণ)

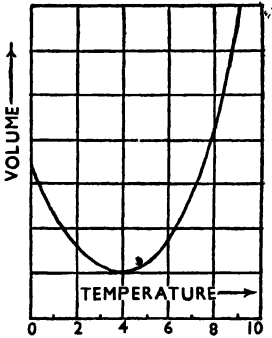
---

* $\rho_t' = \dfrac{\rho_0}{1+\gamma t}$

কাজেই যদি একটি কুণ্ডযুক্ত কাঁচনলের আয়তন যত তাহার $\frac{১}{৭}$ অংশ পরিমাণ পারদ ঐ পাত্রে ঢালিয়া রাখা হয় তবে ঐ পাত্র গরম করিলে পাত্রটি আয়তনে যত বাড়িবে পারদও আয়তনে ঠিক ততটুকু বাড়িয়া পাত্রের সেই বাড়তি স্থানটুকু দখল করিবে। সুতরাং ঐ পাত্রে পারদের উপরে যদি জল রাখা হয় তবে পাত্রের উপরের আয়তন সর্বদা স্থির থাকায় জলের উষ্ণতা বাড়িলেও জলের প্রকৃত আয়তন বৃদ্ধি সোজাসুজি পড়া যাইবে। এইরূপ ব্যবস্থাকে নির্দিষ্ট আয়তনের ডাইলেটোমিটার বলা হয়।

নির্দিষ্ট আয়তনের ডাইলেটোমিটার

1.36. উষ্ণতা বৃদ্ধির সঙ্গে জলের প্রসারণের বৈশিষ্ট্য :

নির্দিষ্ট আয়তনের ডাইলেটোমিটারের সাহায্যে সহজেই জলের প্রকৃত প্রসারণ দেখা যায়। বরফ-জলের উষ্ণতা 0°C ; 0°C উষ্ণতায় জল লইয়া উহাকে গরম করিতে আরম্ভ করিলে অন্য তরলের ন্যায় উহার আয়তন না বাড়িয়া ক্রমশ কমিতে আরম্ভ করিবে। 4°C পর্যন্ত এইভাবে চলিবে। ইহার পর উষ্ণতা বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে জলের আয়তনও ক্রমশ বাড়িবে এবং জল অনেকটা অন্য তরলের ন্যায় আচরণ করিবে।

নির্দিষ্ট ভরের জলের আয়তন উষ্ণতার সহিত যেভাবে পরিবর্তিত হয় তাহার লেখচিত্র

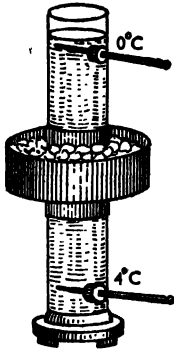
সুতরাং 0°C হইতে 4°C এর মধ্যে জলকে গরম বা ঠাণ্ডা করিলে ইহার আচরণ অস্বাভাবিক হয়।

নির্দিষ্ট ভরের জলের আয়তন 0°C হইতে 4°C পর্যন্ত কমিতে থাকে ইহার পর আবার ইহার আয়তন বাড়ে। সুতরাং নির্দিষ্ট ভরের জলের আয়তন 4°C উষ্ণতায় সর্বাপেক্ষা কম হয় ; অর্থাৎ জলের ঘনত্ব 4°C উষ্ণতায় সর্বাপেক্ষা বেশী। প্রদত্ত লেখচিত্র হইতেও ইহা বুঝা যায়।

এই কথার সত্যতা অন্যভাবেও প্রমাণ করা যায়।

হোপের পরীক্ষা (Hope's Experiment) :

একটি চোঙের মাঝখানে কিছুটা স্থান ঘেরিয়া আর একটা বেঁটে কিন্তু বড় চোঙের

আকৃতির অংশ আছে মাঝখানের চোঙের উপর দিকে একটি এবং নীচের দিকে একটি থার্মমিটার ঢুকানো আছে। ঐ পাত্র জলপূর্ণ কর। বাহিরের পাত্র বরফ দ্বারা ভরিয়া দাও।

হোপের যন্ত্র দ্বারা জলের চরম ঘনত্ব নির্ণয়

একটু পরেই নীচের থার্মমিটার দেখিলে বুঝা যাইবে যে নীচের জলের উষ্ণতা বেশ দ্রুত কমিতেছে, তখন উপরের থার্মমিটার দেখিলে বুঝা যাইবে যে উপরের জলের উষ্ণতা সামান্যই কমিয়াছে। আরও কিছু সময় পরে দেখা যাইবে যে, নীচের জলের উষ্ণতা 4°C পর্যন্ত নামিয়া আর নামিতেছে না; তখন উপরের থার্মমিটারের প্রতি লক্ষ্য রাখিলে দেখা যাইবে যে উপরের জলের উষ্ণতা খুব দ্রুত কমিয়া যাইতেছে এবং ঐ উষ্ণতা 4°C হওয়ার পরও উষ্ণতা কমিতেই থাকিবে এবং ক্রমে উহা প্রায় 0°C হইবে।

সুতরাং বুঝা গেল যে 4°C উষ্ণতার জল সর্বাপেক্ষা ভারী, কারণ ঐ জল চোঙের সকল নীচে থাকে।

জলের অস্বাভাবিক আচরণের ফল—উষ্ণতার সঙ্গে আয়তনের পরিবর্তনে জল যেরূপ আচরণ করে তাহাতে শীতপ্রধান দেশের জলচর প্রাণীদের জীবন রক্ষা পাইতেছে। মেরু অঞ্চলে সমুদ্রের জল শীতকালে ক্রমশ ঠাণ্ডা হইতে হইতে বরফ হইয়া যায়। যদি 4°C উষ্ণতার জল সর্বাপেক্ষা ঘন না হইয়া 0°C-এর জলের ঘনত্ব সবচেয়ে বেশী হইত তাহা হইলে সমুদ্রের তলদেশে 0°C উষ্ণতার জল জমিত এবং উপর দিকে ক্রমশ বেশী উষ্ণ জল থাকিত। ফলে বায়ুর উষ্ণতা 0°C হইতে অনেক নীচে চলিয়া গেলে উপরে বরফ জমিয়া তাহা নীচে চলিয়া যাইত এবং সমুদ্রের জল নীচ হইতে ক্রমশ উপর দিকে কঠিন হইয়া আসিত। ক্রমে সকল জল বরফ হইয়া গেলে জলচর প্রাণী ইহাতে আটকাইয়া যাইত এবং শ্বাসকার্য করিতে না পারিয়া মরিয়া যাইত। আবার গ্রীষ্মকালে উপরের কয়েক ফুট পর্যন্ত বরফ গলিয়া জল হইত এবং নীচে সকল সময় বরফ থাকিত। ঐ সকল স্থানে জাহাজ চলা অসম্ভব হইত।

বরফ জলে ভাসে এবং 4°C উষ্ণতায় জলের ঘনত্ব সর্বাপেক্ষা বেশী, এই দুই কারণে ঐ সকল অসুবিধা ঘটে না।

প্রশ্ন

1. তরলের প্রকৃত প্রসারণ এবং আপাত প্রসারণ বলিলে কি বুঝায়? উহাদের মধ্যে সম্পর্ক কি? প্রকৃত প্রসারণের গুণাঙ্ক এবং আপাত প্রসারণের গুণাঙ্কের সংজ্ঞা লিখ এবং উহাদের সম্পর্ক দেখাও।

(What are meant by the real and apparent expansions of a liquid ? What is the relation between the two ?

Define the co-efficient of real and apparent expansions.)

2. ওয়েট থার্মমিটারের সাহায্যে কিভাবে পারদের আপাত প্রসারণের গুণাঙ্ক নির্ণয় করা যায় বর্ণনা কর। যে সূত্র (formula) ব্যবহার করিতে হইবে তাহা কিভাবে পাওয়া যায় দেখাও।

(Describe how the apparent expansion of mercury may be determined by the weight thermometer method. Deduce the formula to be used.)

3. একটি ওয়েট থার্মমিটারের ওজন 16·34 গ্র্যাম। উহাকে 25°C উষ্ণতায় পারদপূর্ণ অবস্থায় ওজন করিলে ওজন হয় 125 গ্র্যাম। ইহাকে একটি উষ্ণ তরলে অনেকক্ষণ ডুবাইয়া রাখিয়া তুলিয়া আনিয়া ঠাণ্ডা করিয়া ওজন করিলে ওজন হয় 120·2 গ্র্যাম। ঐ উষ্ণ তরলের উষ্ণতা নির্ণয় কর। পারদের আপাত প্রসারণের গুণাঙ্ক ·00018/°C ধর।

(A weight thermometer weighs 16·34 grams. When it is completely filled with mercury and weighed at 25°C, it weighs 125 grams. If it is kept immersed in a hot liquid (at constant temperature) for a long time and then taken out and allowed to cool and weighed again at 25°C, it weighs 12·2 grams. Find the temperature of that liquid. (Given the apparent expansion of mercury in glass = ·00018°C). [*Ans*. 182·7°C]

4. 0°C উষ্ণতায় একটি কাঁচের ওয়েট থার্মমিটারে 51 গ্র্যাম পারদ ধরে। একটি উষ্ণ তরলে উহাকে রাখিলে 1 গ্র্যাম পারদ বাহির হইয়া আসে। ঐ উষ্ণ তরলের উষ্ণতা নির্ণয় কর। (পারদের আয়তনের প্রকৃত প্রসারণের গুণাঙ্ক ·00018 এবং কাঁচের দৈর্ঘ্যের প্রসারণের গুণাঙ্ক ·000009 প্রতি °C-এ)।

(A glass weight thermometer when full of mercury at 0°C contains 51 grams of mercury. When it is placed in a hot bath, 1 gram of mercury is expelled. Find the temperature of that bath. (Co-efficient of real expansion of mercury is ·00018 and the co-efficient of linear expansion of glass is ·000009 per °C.) [*Ans*. 130·7°C]

5. একটি ওয়েট থার্মমিটারের ওজন 40 গ্র্যাম ; 0°C উষ্ণতায় পারদ পূর্ণ করিলে ইহার ওজন হয় 490 গ্র্যাম। 100°C পর্যন্ত ইহাকে উত্তপ্ত করিলে 6·85 গ্র্যাম পারদ উহা হইতে নির্গত হইয়া যায়। পারদের প্রকৃত প্রসারণের গুণাঙ্ক ·000182 হইলে কাঁচের দৈর্ঘ্যের প্রসারণের গুণাঙ্ক নির্ণয় কর।

(A weight thermometer weighs 40 grams ; when it is filled with mercury at 0°C, it weighs 490 grams. When it is heated to 100°C, 6·85 grams of mercury are expelled. If the co efficient of real expansion of mercury is ·000182, determine the co-efficient of linear expansion of glass.) [*Ans*. ·000091°C]

6. Dulong and Petit এর যন্ত্র দ্বারা কিভাবে পারদের প্রকৃত প্রসারণের গুণাঙ্ক নির্ণয় করা যায় বর্ণনা কর।

(Describe how you can determine the real expansion of mercury by Dulong and Petit's apparatus.)

7. নির্দিষ্ট আয়তনের ডাইলেটোমিটারে তরল রাখিয়া উত্তপ্ত করিলে ঐ তরলের আপাত প্রসারণ এবং প্রকৃত প্রসারণ একই হইবে। কারণ ব্যাখ্যা কর।

(When a liquid is placed in a constant volume dilatometer, the real and apparent expansions of the liquid will be the same. Explain.)

৪. উষ্ণতার সহিত জলের আয়তন প্রসারণ ঠিক অন্য তরলের নিয়মে ঘটে না। পার্থক্য কি হয় বল এবং ঐ পার্থক্য থাকায় সামুদ্রিক প্রাণীর কি সুবিধা হয় বুঝাইয়া বল।

(The expansion of water with temperature is not regulated by the rules applicable to other liquids. State in what way it is different and how this difference is advantageous to marine life.)

9. 4°C উষ্ণতায় জলের ঘনত্ব সবচেয়ে বেশী। ইহা প্রমাণ করিবার জন্য দুইটি পরীক্ষা বর্ণনা কর।

(Describe two experiments to prove that the density of water is maximum at 4°C.)

Additional Numerical Problems

1. A glass bulb is completely filled with mercury at 0°C when it contained 334·64 gms. of mercury and then heated to 100°C. It was found that 5·14 gram of mercury was expelled. Find the co-efficient of apparent expansion of mercury in glass.

[*Ans.* ·000156 per °C]

2. A glass bulb with a long narrow neck weighs 26·45 gm. When completely filled with mercury at 0°C it weighs 251·77 gm. Find the weight of mercury that will completely fill the bulb at a temperature of 150°C. Given the co-efficient of apparent expansion of mercury in glass = ·000154 per °C. [*Ans.* 220·354 gm.]

3. In a Dulong and Petits apparatus when steady state was reached, it was found that the hotter limb had a temperature of 100°C the colder limb being at 0°C. The height of the mercury column at 0°C was 38·73 cm. What was the height of the mercury coloumn in the hotter limb ? Given the co-efficient of real expansion of mercury between 0°C and 100°C is ·0001S° C.

[*Ans.* 39·427 cm.]

4. What was the density of mercury in the hotter limb in the preceding question ? [*Ans.* 13·355 gm./c.c.]

5. A weight thermometer contained 100 grams of mercury at a temperature of 12·5°C. When placed in a bath of constant temperature for a long time, it was observed that 3·64 gms. of mercury were expelled ; find the temperature of the bath, given co-efficient of apparent expansion of mercury in glass = ·000154 per °C.

[*Ans.* 257·8°C approx.]

Public Examination Questions

1. Distinguish between the co-efficients of real and apparent expansion of a liquid. How are they related ?

A long glass tube of uniform capillary bore contains a thread of mercury one metre long at 0°C. When the temperature is raised to 100°C the thread of mercury is found to be 16·5 m. m. longer. If the co-efficient of absolute expansion of mercury be 0·000182, calculate the co-efficient of linear expansion of glass.

[*Ans.* ·0000084/°C] [H. S. comp. 1960]

2. Distinguish between the expansions, real and apparent of liquids.

A glass bottle with a fine stem, when immersed in melting ice just contains 300 grams of mercury. Calculate the amount of mercury that will overflow, if the bottle is kept a sufficiently long time in boiling water, the barometric pressure being 76 cm.

Would the amount of heat have been different, if the pressure had been considerably lower ?

(The co-efficient of expansion of mercury in glass $= \frac{1}{6600}$)

[*Ans.* 4·55 gm.] [C.U. I. Sc. 1943]

3. Describe how you would determine the co-efficient of apparent expansion of mercury in a given glass envelope or weight thermometer.

A weight thermometer contains 24 grams of mercury at 0°C. On being heated to 100°C, it is found to contain only 22·662 gms. Calculate the co-efficient of linear expansion of the envelope.

The co-efficient of absolute expansion of mercury is ·00018.

[*Ans.* ·0000066/°C.] [C.U. I. Sc. 1945]

4. A glass vessel contains when full, 816·00 gms. of mercury at 0°C. The mass of mercury which fills it at 100°C is 803·21 gms. Calculate the co-efficient of cubical expansion of glass.

[*Ans.* ·000023/°C] [C.U. I. Sc. 1955]

5. A glass weight thermometer is completely filled with 500 grams of mercury at 0°C. What weight of mercury will overflow when the weight thermometer is heated to 80°C ?

Co-efficient of absolute expansion of mercury $= 182 \times 10^{-6}$; Linear co-efficient of glass $= 9 \times 10^{-6}$ [*Ans.* 9·83 gms.] [C.U. I. Sc. 1957]

চতুর্থ পাঠ

1.4. গ্যাসের প্রসারণ (Expansion of Gases) :

তাপে বায়ুর প্রসারণ সম্পর্কে প্রথম পাঠে বর্ণিত পরীক্ষা হইতে বুঝা যায় যে অল্প উষ্ণতা বৃদ্ধির ফলে বায়ুর আয়তন যথেষ্ট বাড়ে। যে কোন গ্যাসের পক্ষেই ঐ কথা সত্য।

কিন্তু কঠিন ও তরলের আয়তন বৃদ্ধি এবং গ্যাসের আয়তন বৃদ্ধির মধ্যে একটা মূলগত পার্থক্য আছে। ব্যারেল ও পিস্টনের সাহায্যে যে কোন নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসকে চাপিয়া উহার আয়তন কমানো যায়, আবার চাপ কমাইয়া আয়তন বাড়ানো যায়। কিন্তু কঠিন ও তরল পদার্থের আয়তন প্রচণ্ড চাপেও এত সামান্যই কমে যে তাহা গণনার মধ্যে আসে না। সুতরাং উষ্ণতা বাড়াইয়া কঠিন বা তরলের আয়তন বাড়াইবার সময়, অথবা উষ্ণতা কমাইয়া আয়তন কমাইবার সময় উহাদের উপর চাপের প্রভাব বিবেচনা করিবার প্রয়োজন হয় না। কিন্তু গ্যাসের আয়তন বাড়াইতে হইলে উষ্ণতা না বাড়াইয়া শুধু চাপ কমাইয়াই বাড়ানো যাইতে পারে, এবং আয়তন কমাইতে হইলেও তাপ না কমাইয়া শুধু চাপ বাড়াইয়াই তাহা করা চলে। যদি উষ্ণতা বাড়াইবার সময় চাপ কমাইয়া দেওয়া হয় তাহা হইলে গ্যাসের আয়তন অনেক বেশী বাড়িয়া যাইবে, আবার যদি চাপ বাড়ানো হয় তবে গ্যাসের উষ্ণতা বাড়াইলে আয়তন কম বাড়িবে এবং চাপ বেশী বাড়ানো হইলে আয়তন নাও বাড়িতে পারে, এমনকি চাপ বেশী বাড়াইয়া গ্যাসের উষ্ণতা বাড়াইলেও আয়তন কমিতে পারে। সুতরাং কোন নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন গ্যাসের উষ্ণতা এবং চাঁপ এই দুই বস্তুর পরিমাণের উপর নির্ভর করিবে।

যদি গ্যাসের চাপ ঠিক থাকে তবে নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন উষ্ণতার সহিত এক বিশিষ্ট নিয়মে পরিবর্তিত হয়। ঐ নিয়মকে **চার্লসের নিয়ম** বলা হয়।

1.41. চার্লসের নিয়ম (Charles' Law) :

গ্যাসের অণুগুলি সর্বক্ষণ চঞ্চল. ইহারা বিভিন্ন বেগে বিভিন্ন দিকে যদৃচ্ছা চলিতে থাকে। আবদ্ধ পাত্রে থাকিলে প্রচণ্ড বেগে উহারা পাত্রের গায়ে পড়িয়া পাত্রকে আঘাত করে ; অসংখ্য অণুর ঐরূপ আঘাত-ই আবদ্ধ বায়বীয় বস্তুর চাপের কারণ। আবদ্ধ পাত্রের গ্যাসের উষ্ণতা বাড়াইলে অণুগুলির বেগ বৃদ্ধি পায় এবং ফলে চাপ ও বাড়ে। সুতরাং উষ্ণতা বাড়াইয়া বাহিরের চাপ না বাড়াইলে গ্যাসের আয়তন বাড়ে।

চাপ ঠিক থাকিলে নির্দিষ্ট ভারের গ্যাসের আয়তন প্রতি ডিগ্রি সেন্টিগ্রেড উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য ঐ গ্যাসের 0°C উষ্ণতায় যত আয়তন থাকে তাহার এক নির্দিষ্ট ভগ্নাংশ ($\frac{1}{273}$ অংশ) বাড়ে।

মনে কর কোন পাত্রে 0°C উষ্ণতায় 273 ঘন সেন্টিমিটার বায়ু আবদ্ধ করা হইল। ঐ বায়ুর এক নির্দিষ্ট ভরও থাকিবে। এখন ঐ গ্যাসকে 1°C উষ্ণতায় আনিলে ইহার আয়তন বৃদ্ধি হইবে—

273 ঘন সে. মি-এর $\frac{1}{273} = 1$ ঘন সে. মি.। অর্থাৎ, নূতন মোট আয়তন হইবে 274 ঘন সে. মি.।

যদি ঐ গ্যাসকে 2°C উষ্ণতায় আনা যায় তবে উহার আয়তন বৃদ্ধি হইবে 273 ঘন সে. মি.-এর $\frac{2}{273}$—অর্থাৎ, 2 ঘন সে. মি. এবং মোট আয়তন হইবে 275 ঘন সে. মি।

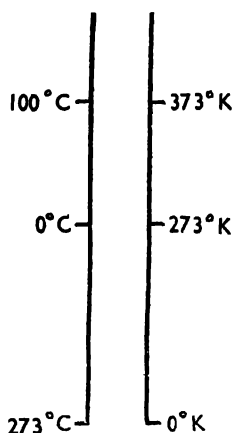
এইভাবে যদি ইহার উষ্ণতা 273°C পর্যন্ত তোলা হয় তবে ঐ গ্যাসের আয়তন হইবে $273 + 273 = 546$ ঘন সে. মি.।

273 ঘন সে. মি.-এর পরিবর্তে নির্দিষ্ট চাপে যে কোন আয়তনের গ্যাস লইলেও 273°C উষ্ণতায় উহার আয়তন দ্বিগুণ হইবে।

এখন মনে কর আগের 273 ঘন সে. মি. আয়তনের গ্যাস 0°C-এ লইয়া ক্রমশ ইহার উষ্ণতা কমানো হইতেছে। ঐ উষ্ণতা যখন 1°C কমিল, তখন আয়তন কমিবে 273 ঘন সে. মি.-এর $\frac{1}{273}$ অংশ $= 1$ ঘন সে. মি.। এইভাবে ক্রমশ উষ্ণতা কমাইয়া যখন -273°C উষ্ণতায় পৌঁছা যাইবে তখন প্রদত্ত নির্দিষ্ট ভরের আয়তন দাঁড়াইবে $273 - 273 = 0$ ঘন সে. মি.। ইহার পর যদি উষ্ণতা আরও কমাইয়া -274°C-এ নেওয়া চলিত তবে ঐ গ্যাসের আয়তন হইত -1 ঘন সে. মি.।

এবসলিউট টেম্পারেচার (Absolute Temperature) :

এখন আমাদের অসুবিধা হইতেছে এই যে, আমরা 0 আয়তন অথবা নেগেটিভ আয়তন কল্পনা করিতে পারি না। আয়তন শূন্য হইলে বুঝিতে হইবে যে, যে বস্তুর আয়তন শূন্য হইয়াছে তাহা কোন স্থান জুড়িয়া অবস্থান করে না। ইহা অসম্ভব ; কারণ যতই ক্ষুদ্র হইক না কেন, বস্তু মাত্রেই একটু স্থান জুড়িয়া অবস্থান করিবে। যদি ধরা যায় যে আয়তন ·0000000000000001 ঘন সে. মি. বা তাহারও কম হইয়াছে এবং উহাকে আমরা 0 বলিয়াছি তাহা হইলে আয়তন 0 হওয়ার কোনপ্রকারে একটা অর্থ করা চলে। কিন্তু কোনক্রমেই আমরা নেগেটিভ আয়তনের কথা ভাবিতে পারি না। কেন না, তাহা হইলে বুঝিতে হইবে যে ঐ বস্তু নিজে তো কোন স্থান দখল করেই না, অধিকন্তু কোন স্থানে উহা

থাকিলে স্থান আরও ফাঁকা হইয়া যায়। ইহা আমরা অসম্ভব মনে করি। অথচ চার্লসের নিয়ম সত্য হইলে **ঐ হিসাবে** এই রূপই পাওয়া যাইতেছে, এবং চার্লসের নিয়ম যে সত্য তাহা পরীক্ষা দ্বারা দেখানো যায়। এই সমস্যার সমাধান করিতে গিয়া বুঝা গিয়াছে যে প্রকৃতপক্ষে উষ্ণতা আমরা $-273°C$-এর পরে আর কমাইতে পারি না। অর্থাৎ, উষ্ণতার শেষের দিকে একটি সীমা আছে, এবং ঐ সীমা $-273°C$. সুতরাং কেহ কখনও $-273°C$-এর নিম্ন উষ্ণতায় পৌঁছিতে পারিবে না। ঐ সর্বনিম্ন উষ্ণতাকে **চরম শূন্য** বা **Absolute zero*** বলে।

সেন্টিগ্রেড স্কেল ও এবসলিউট স্কেলের তুলনা

এখন যদি থার্মমিটারের এমন এক স্কেল ধরা হয় যে উহার 0-দাগ সেন্টিগ্রেডের $-273°C$ নির্দেশ করে এবং প্রত্যেক ডিগ্রির দাগ সেন্টিগ্রেড ডিগ্রির সমান হয়, তবে এই নূতন স্কেলকে Absolute Scale বলা হইবে। আর যেহেতু $-273°C$-এর নীচে উষ্ণতা নাই সেইজন্য এই এবসলিউট স্কেলে কখনও নেগেটিভ উষ্ণতা মাপিবার প্রয়োজন ঘটিবে না। কিন্তু $t°C$ উষ্ণতা এবসলিউট স্কেলে $(273+t)$র সমান হইবে। এবসলিউট স্কেলের উষ্ণতা T দ্বারা অথবা °K দ্বারা নির্দেশ করা হয়।

$$\therefore \quad T = 273 + t$$

যেমন $t°C = 60°C$ হইলে

$T = 273 + 60 = 333$ ইত্যাদি।

চার্লসের নিয়মে যে ভগ্নাংশের উল্লেখ করা হইয়াছে তাহা পরীক্ষায় $\frac{1}{273}$ বলিয়া নির্ণীত হইয়াছে। আমরা পরীক্ষালব্ধ সত্য ধরিয়া লইয়া আগের আলোচনা করিয়াছি।

এখন যদি ঐ ভগ্নাংশের মান নিরূপণ করিতে হয় এবং ভগ্নাংশকে α বলা হয়, তবে নির্দিষ্ট চাপে $0°C$ উষ্ণতার V_0 আয়তনের নির্দিষ্ট ভরের গ্যাস $t°C$ উষ্ণতায় $V_0 + V_0 \times \alpha \times t$ এই আয়তন দখল করিবে।

অর্থাৎ, $$V_t = V_0 (1 + \alpha t)$$

সুতরাং চাপ স্থির থাকিলে উষ্ণতার সঙ্গে গ্যাসের আয়তনের পরিবর্তন তরল এবং কঠিন পদার্থের আয়তনের পরিবর্তনের অনুরূপ নিয়ম দ্বারা নিয়ন্ত্রিত।

*Absolute zero of the gas scale.

ঐ সমীকরণ হইতে পাওয়া যায়

$$V_t - V_0 = V_0 \times \alpha \times t$$

$$\therefore \alpha = \frac{V_t - V_0}{V_0 \times t}$$

$t = 100°C$ বা উর্ধ্ব স্থিরাঙ্কের উষ্ণতা হইলে, $\alpha = \frac{V_{100} - V_0}{V_0 \times 100}$.

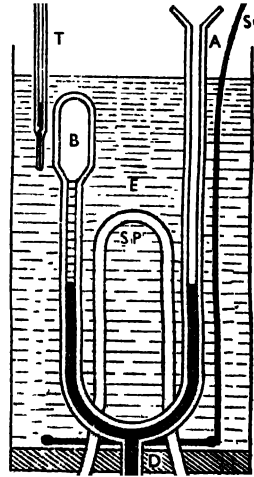
যদি আমরা এক নির্দিষ্ট পরিমাণ ভরের গ্যাস লইয়া এক নির্দিষ্ট চাপে 0°C ও 100°C উষ্ণতায় আয়তন নির্ণয় করিতে পারি তবে α নির্ণয় করিতে পারিব।

1.42. চার্লসের নিয়ম প্রমাণ এবং α নির্ণয় (Regnault's Apparatus):

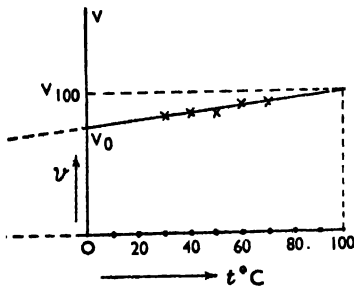
একটি কাঁচের জারের মধ্যে একটি বিশেষ আকৃতির U-নল খাড়া করিয়া দাঁড় করানো আছে। উহার এক দিকে একটি কুণ্ড বা বাল্ব আছে এবং ঐ দিকে বাল্বের নীচ হইতে ঘন সেন্টিমিটারে আয়তনের দাগ কাটা আছে। U-নলের দুই শাখার মধ্যস্থান হইতে একটি নল জার হইতে নীচের দিকে বাহিরে চলিয়া আসিয়াছে। উহার প্রান্তে একটি স্টপ-কক আছে।

চার্লসের নিয়ম সম্পর্কে রেগোর পরীক্ষা

জারের মধ্যে একটি বাঁকানো ধাতুর নল আছে। উহার মধ্য দিয়া স্টীম পাঠানো যায়। জারটি জল পূর্ণ। U-নলের বাল্ব জলের মধ্যে সম্পূর্ণ ডুবিয়া থাকিবে এবং অপর দিকের খোলা মুখ ফানেল আকৃতি হইয়া জলের উপরে থাকিবে। ঐ U-নলে সালফিউরিক এ্যাসিড থাকে এবং বাল্বে বায়ু থাকে। স্টপ-কক খুলিয়া সালফিউরিক এ্যাসিড বাহির করিয়া দেওয়া চলে এবং এই উপায়ে U-নলের দুই শাখায় এ্যাসিডের লেভেল আবশ্যক হইলে কমানো যায়; প্রয়োজন হইলে উপর হইতে সালফিউরিক এ্যাসিড ঐ U-নলে ঢালাও চলে।

বাল্বের গায়ে লাগাইয়া একটি থার্মমিটার ঐ জারে ডুবানো থাকে। উহা দ্বারা জলের উষ্ণতা পড়া যায়।

যন্ত্র দ্বারা কাজ আরম্ভ করিবার পূর্বে U-নলের দুই শাখার এ্যাসিড এক লেভেলে আনিতে হইবে। তখন থার্মমিটার পড়িয়া বাল্‌বের নীচে সালফিউরিক এ্যাসিড যে পর্যন্ত আছে তাহার দাগ কত ঘন সে. মি. তাহাও পড়িতে হইবে। ঐ আয়তন এবং উষ্ণতা লিখিয়া রাখ।

এখন বাঁকানো ধাতব নলের (S. P.) মধ্য দিয়া স্টীম পাঠাও এবং একটি ষ্টারার (Stirer) দ্বারা জল নাড়িতে থাক। 10°C পর পর স্টীম পাঠানোর মাত্রা নিয়ন্ত্রণ করিয়া উষ্ণতা স্থির রাখ, দেখা যাইবে বাল্‌বের বায়ু আয়তনে বাড়িয়া এ্যাসিডকে ঠেলিয়া নীচে নামাইয়া দিয়াছে এবং U-নলের অন্য শাখায় এ্যাসিড একটু উপরে উঠিয়া গিয়াছে। নীচের স্টপ-কক খুলিয়া দুই নলে আবার এ্যাসিডের লেভেল সমান করিয়া লইয়া বায়ুর আয়তন পড়িয়া লও। এইভাবে 10° পর পর পাঁচ সাত বার আয়তনের পাঠ লও।

এখন একটি লেখচিত্রে X-অক্ষে উষ্ণতা এবং Y-অক্ষে গ্যাসের আয়তন প্রকাশ করিয়া বিন্দু স্থাপন কর। ঐ বিন্দুগুলির মধ্যে অধিকাংশগুলি যে সরলরেখায় আছে সেই সরলরেখা টানিয়া দাও। যে কোন উষ্ণতায় আয়তন জানিতে হইলে আমরা উহার সাহায্য লইতে পারিব।

রেণোর পরীক্ষার ফলের লেখচিত্র

প্রত্যেক বার পাঠ লইবার সময় দুই দিকের এ্যাসিডের লেভেল সমান করিয়া লওয়া হইয়াছিল, সুতরাং বায়ুমণ্ডলের নির্দিষ্ট চাপে বিভিন্ন উষ্ণতায় আয়তনের বিভিন্ন পরিমাণ জানা হইয়াছে।

লেখচিত্রের সরলরেখাকে বাড়াইলে Y-অক্ষে যে বিন্দুতে ছেদ করিবে তাহার মান V_0 প্রকাশ করিবে। প্রদর্শিত চিত্রে V_0-র পরিমাণ দেখানো আছে। ঐ রেখার অন্য প্রান্ত বাড়াইয়া 100°C উষ্ণতার বরাবর উপরের বিন্দু পর্যন্ত লইয়া যাও। 100°C উষ্ণতা নির্দেশক বিন্দুর ভিতর দিয়া Y-অক্ষের সমান্তরালে সরলরেখা টানিয়া ঐ লেখচিত্রকে ছেদ কর। ঐ কোটির মান V_{100} প্রকাশ করিবে।

$$\therefore \quad \alpha = \frac{V_{100} - V_0}{V_0 \times 100}$$

এই সমীকরণ অনুযায়ী αর মান নির্ণয় করা যাইবে। উহা $\frac{1}{২৭৩}$ বা ·00366/°C হয়।

বিভিন্ন তরল ও কঠিন পদার্থের প্রসারণের গুণাঙ্ক বিভিন্ন হয় কিন্তু গ্যাসের ক্ষেত্রে দেখা যায় যে সকল গ্যাসের জন্যই—বিশেষত বায়ু, অক্সিজেন, হাইড্রোজেন, নাইট্রোজেন প্রভৃতির ক্ষেত্রে—αর মান '00366/°C হইয়া থাকে।

1.43 চার্লসের নিয়মের অন্যরূপ (Another form of Charles' Law):

চার্লসের নিয়ম হইতে আমরা পাই

$$V_t = V_0 (1 + \alpha t)$$
$$= V_0\left(1 + \frac{t}{273}\right) = V_0 \frac{273 + t}{273}$$
$$= \frac{V_0}{273} T.$$

কোন নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন °C উষ্ণতায় এবং এক নির্দিষ্ট চাপে V_0 হইলে উহা একটি ধ্রুবক, 273 সংখ্যাটিও একটি ধ্রুবক। সুতরাং বলা যায় যে—

নির্দিষ্ট চাপে কোন নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন উহার এবসলিউট উষ্ণতার সহিত সমানুপাতিক।

***1.44. গ্যাসের সংযুক্ত নিয়ম (The Combined gas Laws):**

বয়েলের নিয়ম হইতে পাওয়া যায়, নির্দিষ্ট উষ্ণতায় নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন চাপের ব্যস্ত অনুপাতে পরিবর্তিত হয়; অর্থাৎ $V \propto \frac{1}{p}$, যখন উষ্ণতা—অর্থাৎ, T স্থির থাকে।

চার্লসের নিয়ম হইতে পাওয়া যায়, নির্দিষ্ট চাপে নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন এবসলিউট উষ্ণতার সমানুপাতিক; অর্থাৎ $V \propto T$, যখন p স্থির থাকে।

সুতরাং $V \propto \frac{1}{p}$ যখন T স্থির, p পরিবর্তনশীল

এবং $V \propto T$ যখন p স্থির, T পরিবর্তনশীল

$\therefore$ $V \propto \frac{T}{p}$ যখন T এবং p উভয়ই পরিবর্তনশীল

অথবা $\frac{pV}{T}$ = ধ্রুবক; ইহাই সংযুক্ত গ্যাসের নিয়ম।

অর্থাৎ $\frac{p_1V_1}{T_1} = \frac{p_2V_2}{T_2} = \frac{p_3V_3}{T_3}$, ইত্যাদি।

ইহার অর্থ, কোন গ্যাসকে একটি পিস্টনযুক্ত পাত্রে আবদ্ধ করিয়া যদি T_1 উষ্ণতায় p_1 চাপে রাখিলে আয়তন V_1 হয়, এবং পরে উষ্ণতা এবং চাপ পরিবর্তন করিয়া T_2

এবং p_2 করা হয়, তবে উহার আয়তন এমনভাবে পরিবর্তিত হইয়া V_2তে আসিবে যে আগের আয়তন ও চাপকে গুণ করিয়া আগের এবসলিউট উষ্ণতা দ্বারা ভাগ করিয়া যে ফল হইয়াছে, বর্তমানের আয়তনকে বর্তমানের চাপ দ্বারা গুণ করিয়া বর্তমানের এবসলিউট উষ্ণতা দ্বারা ভাগ করিলেও তাহাই হইবে।

সকল গ্যাসই এই নিয়ম দুইটি বা সংযুক্ত নিয়ম মোটামুটিভাবে পালন করে; কিন্তু ইহাও সত্য যে, কোন গ্যাসই একেবারে খুব সঠিকভাবে এই সকল নিয়ম মানিয়া চলে না। তাই নানা কাজের সুবিধার জন্য পণ্ডিতগণ এমন এক গ্যাসের কথা কল্পনা করিয়াছেন যাহা একেবারে নিখুঁতভাবে এই সকল নিয়ম মানিয়া চলিবে; ঐ গ্যাসের নাম দেওয়া হইয়াছে **আদর্শ গ্যাস (ideal gas বা perfect gas)**।

* 1.44. (a) আয়তন স্থির থাকিলে গ্যাসের উষ্ণতার সহিত চাপের পরিবর্তন (Law of Pressure):

দেখা যায় যে, কোন নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন স্থির রাখিয়া উহাকে উত্তপ্ত করিলে গ্যাসের চাপ নিম্নলিখিত নিয়মে বাড়ে।

$P_t = P_0 (1 + \beta t)$, V স্থির থাকিলে।

P_0 = নির্দিষ্ট ভরের নির্দিষ্ট আয়তনের গ্যাসের চাপ $0°C$ উষ্ণতায়

P_t = ঐ একই ভরের একই আয়তনের গ্যাসের চাপ $t°C$ উষ্ণতায়

β = ধ্রুবক।

যদি নিম্ন স্থিরাঙ্কে এবং উর্ধ্ব স্থিরাঙ্কে কোন নির্দিষ্ট ভরের নির্দিষ্ট আয়তনের চাপ যথাক্রমে P_0 এবং P_{100} হয়, তবে

$$\beta = \frac{P_{100} - P_0}{P_0 \times 100}$$

আবার আদর্শ গ্যাসের পক্ষে $\beta = \alpha$

1.45. স্বভাবী উষ্ণতা ও চাপ (Normal Temperature and Pressure বা N. T. P.):

যেহেতু গ্যাসের আয়তন, উষ্ণতা এবং চাপ উভয়ের উপর নির্ভর করে এবং চাপ বা উষ্ণতার অল্প পরিবর্তনেও আয়তনে উল্লেখযোগ্য পরিবর্তন ঘটে, সেই কারণে কোন গ্যাসের আয়তন নির্দেশ করিতে হইলে উহার উষ্ণতা এবং চাপ কত তাহাও নির্দেশ করিয়া দিতে হয়।

কোন গ্যাসের ঘনত্ব প্রভৃতি নির্দেশ করিতে হইলে কঠিন বস্তুর ঘনত্বের ন্যায় নির্দিষ্ট উষ্ণতায় শুধু ঘনত্ব বলিয়া দিলেই চলিবে না; কারণ একই উষ্ণতায় বিভিন্ন

চাপে ঘনত্ব বিভিন্ন হইবে। এই সকল কারণে গ্যাসের ঘনত্ব নির্দেশ করিতে হইলে সকল ক্ষেত্রেই এক বিশিষ্ট উষ্ণতা এবং এক বিশিষ্ট চাপের উল্লেখ করা হয়। ঐ বিশিষ্ট উষ্ণতা 0°C অথবা 273°K এবং ঐ বিশিষ্ট চাপ 76 সে. মি. পারদ-স্তম্ভের চাপের সমান ধরা হয়।

0°C অর্থাৎ 273°K (এবসলিউট) উষ্ণতাকে স্বভাবী উষ্ণতা (Normal Temperature) বলা হয়।

পারদের 76 সে. মি. দীর্ঘ স্তম্ভের চাপকে স্বভাবী চাপ (Normal Pressure) বলা হয়।

সুতরাং N.T.P. বলিলে 273°K এবং 76 সে. মি. চাপ বুঝায়।

N. T. P.-তে কোন গ্যাসের ঘনত্ব বা আয়তন জানা থাকিলে অন্য উষ্ণতা বা চাপে ঐ গ্যাসের আয়তনের মান সংযুক্ত গ্যাসের নিয়মে বাহির করা যায়।

অঙ্ক: (1) N. T. P.-তে কোন পাত্রে আবদ্ধ বায়ুর আয়তন 2125 ঘন সে. মি. হইলে উষ্ণতা যখন 27°C এবং চাপ 74 সে. মি. হইবে, তখন ঐ আয়তন কত হইবে?

প্রথম অবস্থায় আয়তন $V_1 = 2125$ ঘন সে. মি.

" " উষ্ণতা $T_1 = 273°K$

" " চাপ $P_1 = 76$ সে. মি.

দ্বিতীয় অবস্থায় আয়তন $V_2 = ?$ (জ্ঞাতব্য)

" " উষ্ণতা $T_2 = 27°C = 300°K$

" " চাপ $P_2 = 74$ সে. মি.

এখন $$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

$$\therefore \quad \frac{76 \times 2125}{273} = \frac{74 \times V_2}{300}$$

$$\therefore \quad V_2 = \frac{76 \times 2125 \times 300}{273 \times 74}$$

$= 2398\cdot2$ ঘন. সে. মি.

অঙ্ক: (2) 30°C উষ্ণতায় 85 সে. মি. চাপে আবদ্ধ 19110 ঘন সে. মি. হাইড্রোজেনের ওজন কত নির্ণয় কর। N. T. P.-তে হাইড্রোজেনের ঘনত্ব ·00009 গ্র্যাম প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে।

গ্যাসের আয়তন প্রথমে N. T. P.-তে কত হয় তাহা জানিয়া লইতে হইবে।

প্রথম অবস্থায় আয়তন $V_1 = 19110$ ঘন সে. মি.

" " উষ্ণতা $T_1 = 30°C = 303°K$

" " চাপ $P_1 = 85$ সে. মি.

দ্বিতীয় অবস্থায় আয়তন $V_2 = ?$ (জ্ঞাতব্য)

" " উষ্ণতা $T_2 = 0°C = 273°K$

" " চাপ $P_2 = 76$ সে. মি.

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

$$\frac{85 \times 19110}{303} = \frac{76 \times V_2}{273}$$

$$\therefore \; V_2 = \frac{273 \times 85 \times 19110}{303 \times 76} \text{ ঘন সে. মি.}$$

$\therefore$ নির্ণেয় ভর = আয়তন × ঘনত্ব

$$= \frac{273 \times 85 \times 19110 \times \cdot 00009}{303 \times 76} \text{ গ্র্যাম}$$

$$= 1\cdot 733 \text{ গ্র্যাম।}$$

অঙ্ক ঃ (3) একটি ফ্লাস্কে 35°C উষ্ণতায় বায়ুমণ্ডলের স্বাভাবিক চাপে বায়ু আছে। উহার মুখ কর্ক দ্বারা বন্ধ করা হইল। ফ্লাস্কের ভিতরের চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপের তিন গুণ হইলে কর্ক খুলিয়া যাইবে। কত উষ্ণতায় ঐ ব্যাপার ঘটিবে?

প্রথম অবস্থায় চাপ $P_1 = 1$ এট্‌মস্ফিয়ার (76 সে. মি.)

" " আয়তন V_1 = ফ্লাস্কের আয়তন

" " উষ্ণতা $T_1 = 35°C = 308°K$

দ্বিতীয় অবস্থায় চাপ $P_2 = 3$ এট্‌মস্ফিয়ার (3 × 76 সে. মি.)

" " আয়তন $V_2 = V_1$ = ফ্লাস্কের নির্দিষ্ট আয়তন

" " উষ্ণতা $T_2 = ?$ (জ্ঞাতব্য)

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} \text{ ; এস্থলে } \frac{1 \times V_1}{308} = \frac{3 \times V_1}{T_2}$$

$$T_2 = 924°K = 651°C.$$

*1.46. গ্যাস থার্মমিটার (Gas Thermometer) ঃ

সাধারণ থার্মমিটারের জন্য যেমন পারদ, কোহল প্রভৃতি তরল পদার্থ ব্যবহার করা যায় সেইরূপ এক বিশিষ্ট প্রকার থার্মমিটারের জন্য হাইড্রোজেন, নাইট্রোজেন প্রভৃতি গ্যাস ব্যবহার করা চলে।

কিন্তু যে সকল সাধারণ কাজে আমরা পারদ থার্মমিটার ব্যবহার করি সেই সকল কাজে গ্যাস থার্মমিটার ব্যবহার করা সুবিধাজনক নহে। কিন্তু বিশেষ বিশেষ ক্ষেত্রে সঠিকভাবে **প্রামাণ্য (Standard)** উষ্ণতা নির্ণয় করিবার জন্য গ্যাস থার্মমিটার ব্যবহার অপরিহার্য। গ্যাস থার্মমিটারের সুবিধা এবং অসুবিধার কথা পরে উল্লিখিত হইতেছে।

চার্লসের নিয়ম প্রসঙ্গে আমরা দেখিয়াছি যে কোন গ্যাসের চাপ স্থির থাকিলে উষ্ণতার সহিত উহার আয়তন বাড়ে—

$$V_t = V_0 (1 + \alpha t)$$ এই নিয়মে

রেণোর যন্ত্রের সাহায্যে কোন নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের চাপ স্থির রাখিয়া 0°C উষ্ণতায় আয়তন V_0 এবং 100°C উষ্ণতায় আয়তন V_{100} নির্ণয় করিয়া α জানা যাইবে।

যথা $$\alpha = \frac{V_{100} - V_0}{V_0 \times 100}.$$

এইভাবে রেণোর যন্ত্র দ্বারা α নির্ণয় করিয়া কোন নির্দিষ্ট উষ্ণতার তরলে ঐ যন্ত্রের বাল্‌ব ডুবাইয়া দুই দিকের সালফিউরিক এ্যাসিডের লেভেল সমান করিয়া আমরা V_t জানিতে পারিব। সুতরাং

$$V_t = V_0 (1 + \alpha t)$$

$$t = \frac{V_t - V_0}{V_0 \times \alpha} = \frac{V_t - V_0}{V_{100} - V_0} \times 100$$

অর্থাৎ, $t = \frac{V_t - V_0}{V_{100} - V_0} \times 100$ এই সমীকরণ হইতে t জানিতে পারিব।

একটি নির্দিষ্ট যন্ত্র থাকিলে V_0 এবং V_{100} আগেই নির্ণয় করিয়া রাখা যায়, সুতরাং V_t নির্ণয় করিলেই t জানা যাইবে।

সেইজন্য রেণোর ঐ যন্ত্রকে **(Constant Pressure Air Thermometer)** বলে।

ইহাকে একটি প্রমাণ থার্মমিটার হিসাবে ধরিয়া ইহার সাহায্যে বিভিন্ন প্রকার থার্মমিটারের পাঠ তুলনা করিয়া নিখুঁতভাবে ভুল-ভ্রান্তি স্থির করা হয়।

মনে রাখ গ্যাস থার্মমিটারই **প্রাথমিক থার্মমিটার (Primary Thermometer)** আর সকল থার্মমিটার **সেকেণ্ডারী থার্মমিটার (Secondary Thermometer)**।

সাধারণ Constant pressure গ্যাস থার্মমিটার যেখানে ব্যবহার করা চলে সেই সকল ক্ষেত্রে তরল বস্তুর প্রস্তুত থার্মমিটার অপেক্ষা কোন কোন বিষয়ে উহা ভাল। কারণ—

(1) গ্যাসের প্রসারণের গুণাঙ্ক যে কোন তরলের প্রসারণের গুণাঙ্ক অপেক্ষা বেশী।

(2) নির্দিষ্ট ভরের গ্যাস প্রতি ডিগ্রি উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য সমান পরিমাণে আয়তনে বাড়ে।

(3) উষ্ণতা বৃদ্ধির সহিত গ্যাসের প্রসারণ এত বেশী যে পাত্রের প্রসারণের কথা না ভাবিলেও চলে।

(4) গ্যাস থার্মমিটার দ্বারা – 200°C হইতে 500°C পর্যন্ত উষ্ণতা মাপা যায়।

কিন্তু কোনপ্রকার গ্যাস থার্মমিটারেই ডিগ্রির দাগ কাটিয়া রাখা চলে না, ঐরূপ থার্মমিটার দ্বারা সরাসরি অল্প জিনিসের উষ্ণতা মাপা চলে না, এবং যে স্থলে গ্যাস থার্মমিটারের সাহায্যে উষ্ণতা মাপা হয়, সেই সকল স্থলেও প্রতি ক্ষেত্রে হিসাব না করিয়া উষ্ণতা নির্ণয় করা যায় না। গ্যাস থার্মমিটার বেশ বড় যন্ত্র, ইহাকে স্থানান্তরিত করা সহজ নহে। এই সকল কারণে কোন সাধারণ কাজের জন্য ঐ প্রকার থার্মমিটার ব্যবহার করা যায় না।

প্রশ্ন

1. উষ্ণতার সহিত কঠিন ও তরলের আয়তন পরিবর্তন আলোচনায় চাপের কথা না ভাবিলেও চলে কিন্তু উষ্ণতার সহিত গ্যাসের আয়তন পরিবর্তন প্রসঙ্গে চাপের কথা বিশেষ উল্লেখযোগ্য। ইহার কারণ দর্শাও।

(State reasons why the pressure need not be taken into account when we consider the expansion of solids or liquids, but it must be definitely mentioned when we consider the expansion of a gas.)

2. চার্লসের নিয়ম কি? উহা হইতে কিভাবে এবসলিউট উষ্ণতার স্কেল সম্পর্কে ধারণা জন্মে ব্যাখ্যা কর।

(What is Charles' Law? Explain how the idea of absolute temperature is derived from it.)

3. কি পরীক্ষা দ্বারা চার্লসের নিয়ম প্রমাণ করা যায়? গ্যাসের আয়তন প্রসারণের গুণাঙ্ক এবং তরল ও কঠিনের প্রসারণের গুণাঙ্কের বৈশিষ্ট্য কি?

(Describe an experiment to prove Charles' Law. What are the characteristic of the co-efficients of expansion of gases as compared to those of liquids and solids.)

4. গ্যাসের সংযুক্ত নিয়ম বলিলে কি বুঝায়? কিভাবে ঐ নিয়মে পৌঁছানো যায় দেখাও। আদর্শ গ্যাস বলিলে কি বুঝায়?

(What is the combined gas law? How can we arrive at the law? What is meant by an ideal gas?)

5. এক ঘন সে.মি. কার্বন ডাই-অক্সাইডের N.T.P.-তে ওজন হয় ·0019 গ্র্যাম। 77°C উষ্ণতায় এবং 38 সে. মি. চাপে 1 গ্র্যাম কার্বন ডাই-অক্সাইডের আয়তন কত হইবে?

(One c.c. of carbon dioxide weighs ·0019 gram at N. T. P. What will be the volume of 1 gram of carbon di-oxide at 77°C and 38 cm. pressure?)

[*Ans.* 134·9 c.c.]

6. 20°C উষ্ণতায় 760 মি. মি. চাপে নির্দিষ্ট ভরের বায়ুর আয়তন 1000 ঘন সে. মি. হইলে 750 মি. মি. চাপে কত উষ্ণতায় উহার আয়তন হইবে 1400 ঘন সে. মি. ?

(A given mass of air occupies 1000 c.c. at 20°C and 760 m. m. pressure. At what temperature under a pressure of 750 m. m. will the volume be 1400 c.c. ?)

[*Ans.* 131·9°C]

7. বায়ুর স্বভাবী চাপে 20°C উষ্ণতায় একটি পাত্রে 100 ঘন সে. মি. বায়ু আছে। ঐ পাত্র 5 এটমোস্ফেরিক চাপের বেশী চাপ সহ্য করিতে পারে না।

(a) কত ডিগ্রি উষ্ণতায় পাত্র ফাটিয়া যাইবে ?

(b) যদি ঐ পরিমাণ বায়ু অন্য পাত্রে থাকিত এবং চাপ ঠিক থাকিত তবে ঐ উষ্ণতায় উহার আয়তন কত হইত ?

(A vessel contains 100 c.c. of air under normal atmospheric pressure and at a temperature of 20°C. The vessel cannot stand a pressure above 5 atmospheres.

(*a*) At what temperature will the vessel burst ?

(*b*) If this air were contained in another vessel and the pressure remained constant, what would have been its volume at the temperature of bursting as found in (*a*) ? [*Ans.* (*a*) 1192°C ; (*b*) 500 c.c.]

দ্বিতীয় অধ্যায়

ক্যালরিমিতি

প্রথম পাঠ

2.1. তাপের পরিমাণের হিসাব ঃ

আমরা কোন কিছুর পরিমাণ স্থির করিতে চাহিলে প্রথমে একটি উপযুক্ত একক স্থির করিয়া লই। সুতরাং এক বস্তু হইতে অপর বস্তুতে কত তাপ গিয়াছে (বা অপর বস্তু কত তাপ পাইয়াছে) তাহা হিসাব করিতে হইলেও আগে তাপের একক স্থির করিয়া লইতে হইবে। এই ব্যাপারে থার্মমিটার আমাদিগকে সাহায্য করিতে পারে কিন্তু সোজাসুজি আমরা থার্মমিটার পড়িয়া তাপের পরিমাণ স্থির করিতে পারি না। আগেই বলা হইয়াছে (5 পৃষ্ঠা) যে একটা পিনের উষ্ণতা খুব বেশী হইতে পারে কিন্তু তাহাতে তাপ বেশী না থাকিতে পারে। সেই সূত্রে তাপ বেশী বা কম বুঝিবার জন্য আমরা স্পিরিট ল্যাম্পের স্পিরিট কত খরচ হয় তাহা দেখিয়া তাপের পরিমাণ অনুমান করা যাইবে বলিয়াছি।

যদি স্পিরিট ল্যাম্প গোল না হইয়া পরখনলের আকৃতি হয় এবং উহাতে দাগ কাটা থাকে তবে দুই বস্তুকে গরম করিয়া সমান উষ্ণতায় আনিতে কোন্‌টায় কত বেশী বা কম তাপ লাগিল তাহা আরও ভালরূপে বুঝিতে পারিব। ইহার জন্য নিম্নলিখিতরূপে একটি পরীক্ষা করা যাইতে পারে।

একটি বীকারে মেজারিং সিলিণ্ডারের সাহায্যে 100 ঘন সেন্টিমিটার জল লও, এবং দ্বিগুণ ওজনের অন্য একটি বীকারে 200 ঘন সেন্টিমিটার জল লও। পাত্রগুলিতে যে জল লওয়া হইল তাহার ভর যথাক্রমে প্রায় 100 গ্র্যাম ও 200 গ্র্যাম হইবে।

এখন প্রথম বীকারের জলে একটি থার্মমিটার বসাইয়া ঐ জল স্পিরিট ল্যাম্প দ্বারা গরম কর। উষ্ণতা 10°C বাড়িতে কত সময় লাগে লক্ষ্য কর।

পরে দ্বিতীয় বীকারে থার্মমিটার বসাইয়া অনুরূপভাবে 10°C উষ্ণতা বাড়িতে সময় কত লাগে লক্ষ্য কর। দেখিবে দ্বিতীয় ক্ষেত্রে সময় প্রায় দ্বিগুণ লাগিয়াছে। স্পিরিট ল্যাম্প একই ভাবে জলিয়া থাকিলে দ্বিতীয় ক্ষেত্রে দ্বিগুণ স্পিরিট পোড়ানো হইয়াছে, এবং ধরা যায় দ্বিগুণ তাপও উৎপন্ন হইয়াছে; কিন্তু জলের উষ্ণতা দুই ক্ষেত্রেই সমান বৃদ্ধি হইয়াছে। সুতরাং শুধু থার্মমিটারে উষ্ণতা বৃদ্ধি দেখিয়াই আমরা তাপের পরিমাণ স্থির করিতে পারিব না। কিন্তু সময় বা স্পিরিটের পরিমাণ দেখিয়া

আমরা তাপের পরিমাণের ধারণা ঠিকভাবেই করিতে পারি। কিন্তু সকল ক্ষেত্রেই স্পিরিট বা কয়লা সময়ের সঙ্গে সমান হারে পোড়ানো সম্ভবপর নহে, এবং ঠিক কত ওজনের কয়লা বা অন্য জ্বালানি ঠিক কত অংশ পোড়া হইল তাহার হিসাব করা সম্ভবপর নহে। সুতরাং সময়, বা স্পিরিট প্রভৃতি জ্বালানির পরিমাণ দেখিয়া তাপের পরিমাণের হিসাব করা কোন বৈজ্ঞানিক পদ্ধতি হিসাবে গণ্য করা যায় না।

কিন্তু ঐ পরীক্ষায় দ্বিগুণ ভরের জল ও কাঁচ দ্বিগুণ তাপ লইয়া সমান উষ্ণ হইয়াছে বলিয়া যে ধারণা আমরা করিয়াছি তাহা সত্য হইলে নির্দিষ্ট উষ্ণতা বৃদ্ধি দ্বারাই আমরা তাপ মাপিবার একক স্থির করিতে পারি। তাহা হইলে তাপ কিভাবে কোন্ জিনিস কতটা পোড়াইয়া বা কত সময়ে দেওয়া হইয়াছে তাহা হিসাব না করিয়া **কতটুকু জল কত উষ্ণ হইয়াছে** তাহা হিসাব করিলেই আমরা তাপের পরিমাণ পাইতে পারি।

2.11. তাপের একক ঃ

এক একক ভরের জলের উষ্ণতা এক ডিগ্রি বাড়াইতে যত তাপের আবশ্যক তাহাকে তাপের একক বলা হয়।

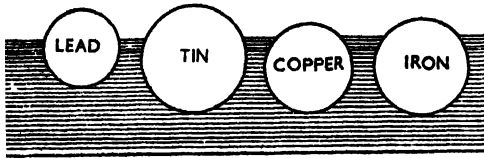
C. G. S. প্রণালীতে সেই কারণে তাপের যে একক স্থির করা হইয়াছে তাহা এই—এক গ্র্যাম জলের উষ্ণতা এক ডিগ্রি সেন্টিগ্রেড বাড়াইতে যতটা তাপ প্রয়োজন তাহাই C. G. S. প্রণালীর তাপের একক; ঐ এককের নাম এক **ক্যালরি** (Calorie).

F.P.S. প্রণালীতে তাপের এককের নাম **ব্রিটিশ থার্ম্যাল ইউনিট (B.Th.U.)** বা **পাউণ্ড-ফারেনহীট (Pound-Fahrenheit)** এবং যে তাপে এক পাউণ্ড জলের উষ্ণতা 1°F বৃদ্ধি পায় তাহার পরিমাণই ঐ একক।

তাপের আরও বৃহত্তর একক কোন কোন ক্ষেত্রে ব্যবহার করা হয়। C. G. S. প্রণালীতে কিলো-ক্যালরি Kilo-Calorie = 1000 Calories একটি বড় একক; F. P. S. প্রণালীতে **থার্ম (Therm)** ঐরূপ একটি বড় একক। 100 পাউণ্ড জলের উষ্ণতা 100°F বাড়াইতে যে তাপের প্রয়োজন হয় (10000 B. Th. U.) তাহাকে এক থার্ম বলে।

সূক্ষ্ম হিসাবে 1 গ্র্যাম জলের উষ্ণতা 1°C বৃদ্ধি করিতে হইলে সকল উষ্ণতায় সমান তাপের আবশ্যক হয় না, সেই কারণে 14·5°C হইতে 15·5°C পর্যন্ত এই 1° উষ্ণতা বৃদ্ধি করিতে যে তাপ আবশ্যক তাহাকেই প্রামাণ্য ক্যালরি বলা হয়।

2.12. আপেক্ষিক তাপ (Specific Heat) :

পরীক্ষা : সমান ওজনের সীসা, তামা, লোহা ও পিতলের চারিটি বল লও। ইহাদিগকে একই পাত্রে জলে ডুবাইয়া জল ফুটাইতে থাক ; একখানা সাদা প্যারাফিনের পুরু আয়তাকার ব্লক টেবিলের উপর রাখ।

সমান ওজনের বিভিন্ন বস্তু সমান উষ্ণতা হ্রাসের সময় বিভিন্ন পরিমাণ তাপ বর্জন করে

এখন উপযুক্ত চিমটার সাহায্যে একটি একটি করিয়া বল তুলিয়া আনিয়া মোমের উপর পাশাপাশি রাখিতে থাক। বলগুলি ঠাণ্ডা হইয়া গেলে দেখা যাইবে যে বিভিন্ন পদার্থের বল প্যারাফিনের মধ্যে বিভিন্ন গভীরতা পর্যন্ত ঢুকিয়াছে।

সুতরাং সমান ওজনের বিভিন্ন বস্তু হইতে বিভিন্ন পরিমাণ তাপ মোমের মধ্যে গিয়াছে। ফুটন্ত জলে থাকা অবস্থায় প্রত্যেক বলের উষ্ণতা ছিল প্রায় 100°C ; আর মোমের ভিতর ঢুকিয়া যাওয়ার পর শেষ পর্যন্ত ঠাণ্ডা হইয়া সকলগুলির উষ্ণতা-ই হইয়াছে ঘরের বায়ুর উষ্ণতার সমান—ধর 30°C. সুতরাং প্রত্যেক বলের উষ্ণতা সমান (70°C) কমিয়াছে কিন্তু সকলগুলি সমান তাপ ত্যাগ করে নাই।

তাপ গ্রহণ করিবার সময়ও একই ভরের সকল বস্তু সমান উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য সমান তাপ গ্রহণ করে না। অথবা সমান তাপ গ্রহণ করিবার ফলে একই ভরের সকল বস্তুর সমান উষ্ণতা বৃদ্ধি হয় না।

আপেক্ষিক তাপের সংজ্ঞা : কোন বস্তুর এক গ্র্যাম 1°C উষ্ণতা হ্রাসের জন্য যতটা তাপ বর্জন করে অথবা 1°C উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য যতটা তাপ গ্রহণ করে ঐ তাপের পরিমাণকে ঐ বস্তুর আপেক্ষিক তাপ (Specific heat) বলে।*

আবার আমরা জানি এক গ্র্যাম জলের উষ্ণতা 1°C বৃদ্ধি করিতে যে তাপ লাগে তাহার পরিমাণ 1 ক্যালরি।

সুতরাং জলের আপেক্ষিক তাপ 1 ক্যালরি প্রতি গ্র্যামে প্রতি °C.

---

* আধুনিক নিয়মে ইহাই আপেক্ষিক তাপের সংজ্ঞা। ইহার অন্য সংজ্ঞা এইরূপ—

$$\text{আপেক্ষিক তাপ} = \frac{\text{বস্তুর নির্দিষ্ট ভরের নির্দিষ্ট পরিমাণ উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য যত তাপ প্রয়োজন}}{\text{সমান ওজনের জলের ঐ পরিমাণ উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য যত তাপ প্রয়োজন}}$$

এই সংজ্ঞা অনুসারে আপেক্ষিক তাপ একটি শুদ্ধ সংখ্যা।

দেখা গিয়াছে যে কোন কঠিন বা তরল পদার্থের আপেক্ষিক তাপ জলের আপেক্ষিক তাপ অপেক্ষা বেশী হয় না। ইহার অর্থ এই যে একই পরিমাণ উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য সমান ওজনের যে-কোন বস্তুর তুলনায় জল বেশী তাপ গ্রহণ করে।

বস্তুর তাপ গ্রহণ বা তাপ বর্জনের পরিমাণ নির্ণয়ঃ

মনে কর, কোন বস্তুর m গ্র্যামকে গরম করিয়া t°C উষ্ণতা বাড়ানো হইল। উহা কত তাপ গ্রহণ করিয়াছে নির্ণয় করিতে হইবে।

ধর ঐ বস্তুর আপেক্ষিক তাপ s ক্যালরি প্রতি গ্র্যাম প্রতি °C

∴ 1 গ্র্যাম বস্তু 1°C উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য s ক্যালরি তাপ গ্রহণ করে

∴ m " " " ms " " "
m " t°C " mst " " "

অর্থাৎ, গৃহীত তাপ mst ক্যালরি। যদি ঐ বস্তুর উষ্ণতা t°C কমাইয়া দেওয়া হয়, তবে বর্জিত তাপের পরিমাণ ঐ ভাবে হিসাব করিয়া পাওয়া যাইবে mst ক্যালরি।

যদি **অবস্থার পরিবর্তন না ঘটিয়া** এক টানা কোন বস্তুর উষ্ণতা বাড়ে বা কমে তাহা হইলে,

গৃহীত তাপ = বস্তুর ভর × আপেক্ষিক তাপ × উষ্ণতা বৃদ্ধি

বর্জিত তাপ = বস্তুর ভর × আপেক্ষিক তাপ × উষ্ণতা হ্রাস

তাপের আদান-প্রদান—এক বা একাধিক বস্তু হইতে অন্য এক বা একাধিক বস্তুতে যখন তাপ যায় তখন উষ্ণতর বস্তু বা বস্তুসমূহ যত তাপ বর্জন করে, অপেক্ষাকৃত কম উষ্ণ বস্তু বা বস্তুসমূহ ঠিক তত তাপই গ্রহণ করে।

মনে কর, একটা গরম লোহার বল উনান হইতে চিমটার সাহায্যে তুলিয়া আনিয়া একটা কাঁসার গ্লাসের জলে ছাড়িয়া দেওয়া হইল। এখানে উষ্ণতর বস্তু লোহার বলটি তাপ বর্জন করিয়া ঠাণ্ডা হইবে এবং গ্লাসের জল ও কাঁসা তাপ গ্রহণ করিয়া গরম হইবে। বলটি ঠাণ্ডা হইয়া যে উষ্ণতায় নামিবে, কাঁসার গ্লাস ও জল গরম হইয়া ঠিক সেই উষ্ণতায় উঠিলে উষ্ণতার তারতম্য থাকিবে না। সুতরাং বল ও জলসহ গ্লাসের মধ্যে তাপের আদান-প্রদান বন্ধ হইবে।

ইহার পর বল, জল এবং গ্লাস মেঝেতে পরিবহণে এবং বায়ুতে পরিচলন ও বিকিরণে তাপ ছাড়িয়া ক্রমশ ঠাণ্ডা হইবে।

আবার বলটি উনানে থাকা অবস্থায় যত উষ্ণ ছিল গ্লাসের জলে ডুবিবার সময় ঠিক তত উষ্ণ ছিল না। কারণ, বলটি আনিবার সময় চিমটায় পরিবাহিত হইয়া এবং বায়ুতে পরিচলন ও বিকিরণ দ্বারা কিছু কিছু তাপ ক্ষয় হইয়াছে।

কিন্তু বলটি হইতে মোট বর্জিত তাপ চিমটা, বায়ু, জল, কাঁসা ও মেঝে দ্বারা গৃহীত মোট তাপের সহিত সমান হইবে। সুতরাং আমরা তাপের আদান-প্রদানের সকল ক্ষেত্রেই লিখিতে পারি।

বর্জিত তাপ = গৃহীত তাপ (Heat lost) = (Heat gained)

কারণ, তাপ একপ্রকার শক্তি এবং ইহার রূপান্তর না ঘটিলে ঐ তাপশক্তি এক বস্তু হইতে যে পরিমাণ ক্ষয় হইবে অপরাপর বস্তুতে সেই পরিমাণে সঞ্চিত হইবে।

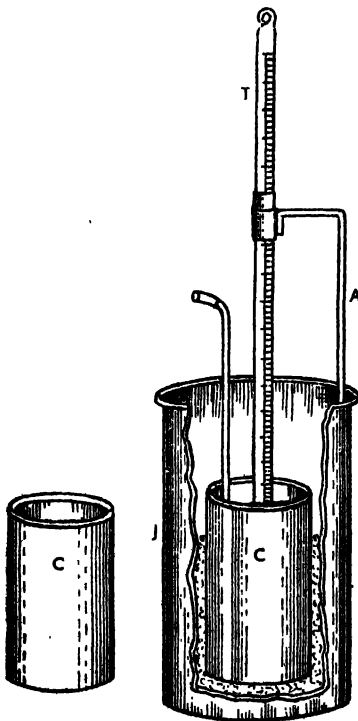
ভালভাবে তাপের আদান-প্রদান সম্পর্কে পরীক্ষা করিতে হইলে অনাবশ্যক তাপ ক্ষয় যাহাতে যথাসম্ভব কম হয় তাহার ব্যবস্থা করা হয়; এবং আমরা এখানে যে সকল ক্ষেত্রে তাপের আদান-প্রদান আলোচনা করিব তাহাতে এই সকল নগণ্য ধরিয়া **পরীক্ষণীয় বস্তুগুলির মধ্যেই** বর্জিত তাপ গৃহীত তাপের সমান বলিয়া ধরিয়া লইব।

2.13. ক্যালরিমিটার ও ক্যালরিমিতি ঃ

তাপের আদান-প্রদান সম্পর্কিত কোন পরিমাপের জন্য সাধারণত একটি পাত্র পরীক্ষাগারে ব্যবহার করা হয় তাহাকে ক্যালরিমিটার বলে। ইহা বীকারের আকৃতিবিশিষ্ট একটি তামার পাত্র; ইহার মধ্যে সরু লম্বা তামার হাতল যুক্ত একটা চেপ্‌টা বলয় বা রিং থাকে, উহাকে স্টারার (stirer) বা আন্দোলক বলে। পাত্রের ভিতরের ও বাহিরের গাত্র খুব পালিশ ও চকচকে* থাকা উচিত। উহাকে একটি বড় পাত্রে রাখিয়া দুই পাত্রের মধ্যের ফাঁকে তুলা রাখা হয়।

ক্যালরিমিটারের সরঞ্জাম C— ক্যালরিমিটার
J—বাহিরের পাত্র T—থার্মমিটার

ঐ ক্যালরিমিটারে জল বা অন্য কোন তরল পদার্থ লওয়া হয়। তামা সুপরিবাহী বলিয়া ক্যালরিমিটার স্টারার এবং তরল পদার্থের উষ্ণতা সবসময় একই থাকে বলিয়া ধরা হয়।

তাপের আদান-প্রদান ব্যাপারে উহা কি কাজে লাগে তাহা পরবর্তী পৃষ্ঠায় উদাহরণগুলির সাহায্যে স্পষ্ট বুঝা যাইবে।

* যে বস্তু যত মসৃণ ও ধব্‌ধবে সাদা থাকে তাহা তত কম তাপ শোষণ বা বিকিরণ করে।

উদা. 1. একটি 125 গ্র্যাম ওজনের লোহার বলের উষ্ণতা যখন 480°C তখন উহাকে একটি 120 গ্র্যাম ওজনের তামার ক্যালরিমিটারে রক্ষিত 25°C উষ্ণতায় 100 গ্র্যাম জলের মধ্যে ছাড়িয়া দেওয়া হইল। জলের উষ্ণতা কত বাড়িবে ?

(লোহার আপেক্ষিক তাপ = ·117, তামার আপেক্ষিক তাপ = ·092)

(i) এখানে লোহার বল অধিক উষ্ণতায় আছে, সুতরাং উহাই তাপ বর্জন করিব। সুতরাং লোহার বলের উষ্ণতা হ্রাস পাইবে।

(ii) তাপ গ্রহণ করিবে ক্যালরিমিটার এবং ক্যালরিমিটারে রক্ষিত জল। সুতরাং ঐ দুই বস্তুর উষ্ণতা বৃদ্ধি পাইবে।

মনে কর, লোহার বলের উষ্ণতা কমিয়া এবং জল ও ক্যালরিমিটারের উষ্ণতা বাডিয়া যেন শেষ উষ্ণতা t°C হইল।

$\therefore$ বলের উষ্ণতা হ্রাস = $(480 - t)$°C ;

জল ও ক্যালরিমিটারের উষ্ণতা বৃদ্ধি = $(t - 25)$°C

এখানে অবস্থার পরিবর্তনের কোন ব্যাপার নাই।

এক্ষণে, গরম বল দ্বারা বর্জিত তাপ = বলের ভর × লোহার আপেক্ষিক তাপ × উষ্ণতা হ্রাস

$= 125 \times \cdot117 \times (480 - t)$

আর জল ও ক্যালরিমিটার দ্বারা গৃহীত তাপ

= জলের ভর × জলের আপেক্ষিক তাপ × উষ্ণতা বৃদ্ধি + ক্যালরিমিটারের ভর × তামার আপেক্ষিক তাপ × উষ্ণতা বৃদ্ধি

$= 100 \times 1 \times (t - 25) + 120 \times \cdot092 \times (t - 25)$

$= (100 + 120 \times \cdot092)\ (t - 25)$

বর্জিত তাপ = গৃহীত তাপ

$125 \times \cdot117 \times (480 - t) = (100 + 120 \times \cdot092)\ (t - 25)$

$14\cdot625 \times 480 - 14\cdot625t = (100 + 11\cdot04)(t - 25)$

$= 111\cdot04 \times t - 111\cdot04 \times 25$

$\therefore\ (111\cdot04 + 14\cdot625)t = 480 \times 14\cdot625 + 111\cdot04 \times 25$

$125\cdot665t = 7020$

$$t = \frac{7020}{125\cdot665} = 55\cdot86°\text{C}.$$

$\therefore$ জলের উষ্ণতা বৃদ্ধি

$55\cdot86 - 25 = 30\cdot86$°C.

উদা. 2. একটি তামার ক্যালরিমিটারের (স্টারার সহ) ওজন 77·98 গ্র্যাম। ইহাতে 28°C উষ্ণতায় 70·12 গ্র্যাম জল লওয়া হইল। 2·87 গ্র্যাম ওজনের একখণ্ড মার্বেল পাথর 99°C উষ্ণতায় ঐ ক্যালরিমিটারে ছাড়িয়া জল নাড়িয়া দেখা গেল যে, সবচেয়ে বেশী উষ্ণতা হইল 32°C. মার্বেল পাথরের আপেক্ষিক তাপ কত নির্ণয় কর। তামার আপেক্ষিক তাপ ·1 ক্যালরি/গ্র্যাম/°C ধর।

(i) এক্ষেত্রে তাপ বর্জন করিতেছে মার্বেল পাথর; উহার উষ্ণতা 99°C হইতে নামিয়া 32°C হইয়াছে।

∴ মার্বেলের উষ্ণতা হ্রাস = (99 − 32)°C = 67°C.

(iii) তাপ গ্রহণ করিতেছে জল ও ক্যালরিমিটার। উহাদের উষ্ণতা 28°C হইতে বাড়িয়া 32°C হইয়াছে।

∴ ইহাদের উষ্ণতা বৃদ্ধি (32 − 28)°C = 4°C.

মার্বেল দ্বারা বর্জিত তাপ = মার্বেলের ভর × মার্বেলের আপেক্ষিক তাপ × উষ্ণতা হ্রাস (এখানে অবস্থার রূপান্তর নাই)

= 20·87 × S × 67

মার্বেলের আপেক্ষিক তাপ জানা নাই, উহা S ধরা হইয়াছে।

জল ও ক্যালরিমিটার দ্বারা গৃহীত তাপ
(অবস্থার রূপান্তর নাই)
= {জলের ভর × জলের আপেক্ষিক তাপ + ক্যালরিমিটারের ভর × তামার আপেক্ষিক তাপ} × উষ্ণতা বৃদ্ধি।

কারণ, উভয়ের উষ্ণতা সমান বৃদ্ধি পাইয়াছে।

∴ গৃহীত তাপ = (70·12 × 1 + 77·98 × ·1) × 4

বর্জিত তাপ = গৃহীত তাপ

20·87 × S × 67 = (70·12 + 7·798)4

1398·29 S = 311·672

$$\therefore \quad S = \frac{311{\cdot}672}{1398{\cdot}29}$$

= ·223 ক্যালরি প্রতি গ্র্যামে প্রতি °C.

উদা. 3. একটি তামার ক্যালরিমিটার ও স্টারারের ওজন 120 গ্র্যাম। ইহাতে 95°C উষ্ণতায় 125 গ্র্যাম জল আছে। এখন ঐ জলের মধ্যে 25°C উষ্ণতার 55 গ্র্যাম জল ঢালিয়া নাড়িয়া দিলে শেষ উষ্ণতা কত হইবে?

এক্ষেত্রে ক্যালরিমিটার এবং গরম জল তাপ বর্জন করিতেছে। যদি শেষ উষ্ণতা

t°C হয় তবে ইহাদের উষ্ণতার হ্রাস হইবে (95 − t)°C তাপ গ্রহণ করিতেছে ঠাণ্ডা-জল। উহার উষ্ণতা (t − 25)°C বৃদ্ধি পাইবে।

বর্জিত তাপ = { ক্যালরিমিটারের ভর × আপেক্ষিক তাপ

+ গরম জলের ভর × আপেক্ষিক তাপ } × উষ্ণতা হ্রাস

$= (120 \times {\cdot}1 + 125 \times 1)(95 - t)$

গৃহীত তাপ = ঠাণ্ডা জলের ভর × আপেক্ষিক তাপ × উষ্ণতা বৃদ্ধি

$= 55 \times 1 \times (t - 25)$

বর্জিত তাপ = গৃহীত তাপ

$$(120 \times {\cdot}1 + 125)(95 - t) = 55(t - 25)$$

$$137 \times 95 - 137t = 55t - 55 \times 25$$

$$192t = 14390$$

$$= \frac{14390}{192} = 74{\cdot}95°C.$$

অঙ্ক: (4) একটি তামার বলের ওজন 100 গ্র্যাম ; ইহার উষ্ণতা 1°C বৃদ্ধি করিতে হইলে কত ক্যালরি তাপের আবশ্যক হইবে? ঐ তাপে কত গ্র্যাম জলের উষ্ণতা 1°C বৃদ্ধি পাইবে?

উহা যে তাপ গ্রহণ করিবে তাহার পরিমাণ

= বলের ভর × আপেক্ষিক তাপ × উষ্ণতা বৃদ্ধি

$= 100 \times {\cdot}1 \times 1$

= 10 ক্যালরি।

আমরা জানি,

1 ক্যালরি তাপে 1 গ্র্যাম জলের উষ্ণতা 1°C বৃদ্ধি পায়

∴ 10 10 ,, 1°C ,,

অর্থাৎ, 100 গ্র্যাম তামার প্রতি ডিগ্রি উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য যে তাপ আবশ্যক 10 গ্র্যাম জলের প্রতি ডিগ্রি উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য সেই তাপ আবশ্যক।

সুতরাং তাপের আদানপ্রদান ব্যাপারে 100 গ্র্যাম তামা 10 গ্র্যাম জলের সমান।

2·14. তাপ গ্রাহিতা ও জলসম (Thermal Capacity and Water Equivalent) :

তাপ গ্রাহিতা—কোন নির্দিষ্ট ভরের বস্তু যত তাপ গ্রহণ করিয়া 1°C উষ্ণতর হয় সেই **তাপের পরিমাণকে** ঐ প্রদত্ত বস্তুর তাপ গ্রাহিতা (Thermal Capacity বলে)।

গুণফলের সমান—অর্থাৎ, $Sm \times 1 = Sm$ ক্যালরি।

সুতরাং S আপেক্ষিক তাপবিশিষ্ট m ভরের বস্তুর তাপ গ্রহণ ক্ষমতা mS ক্যালরি।

জলসম—কোন নির্দিষ্ট ভরের বস্তু তাপের আদানপ্রদান ব্যাপারে যত ভরের জলের সমান তত ভরকে বস্তুর জলসম (Water equivalent) বলে।

যদি S আপেক্ষিক তাপবিশিষ্ট বস্তুর ভর m হয়, তবে উহার উষ্ণতা 1°C বাড়াইতে হইলে mS ক্যালরি তাপের প্রয়োজন।

আর ঐ mS ক্যালরি তাপ দ্বারা যদি mS গ্র্যাম জলকে গরম করা হয় তবে ঐ জলের উষ্ণতাও 1°C বৃদ্ধি পাইবে। সুতরাং m গ্র্যাম বস্তু তাপ আদানপ্রদানের ব্যাপারে mS গ্র্যাম জলের সমান।

সুতরাং ঐ বস্তুর

তাপ গ্রাহিতা $= mS$ ক্যালরি

জলসম $= mS$ গ্র্যাম।

অর্থাৎ, ভরকে আপেক্ষিক তাপ দ্বারা গুণ করিয়া ক্যালরিতে প্রকাশ করিলে উহা বস্তুর তাপ গ্রহণের ক্ষমতা বুঝায় আর গ্র্যামে প্রকাশ করিলে উহার জলসম (অর্থাৎ, তাপ আদানপ্রদান ব্যাপারে উহা কত ভর জলের সমান) বুঝায়।

4নং উদাহরণে 100 গ্র্যাম তামার তাপ গ্রহণ ক্ষমতা 10 ক্যালরি এবং উহার জলসম 10 গ্র্যাম হইবে।

প্রশ্ন

1 C G S. এবং F P S প্রণালীতে তাপের এককগুলির নাম এবং সংজ্ঞা লিখ। F P S প্রণালীর এক একক তাপ C G S প্রণালীর কত একক তাপের সহিত সমান?

(Write down the names and definitions of the units of heat in C. G. S. and F.P.S. systems What is the relation between the units in the two systems?)

[*Ans.* 252]

2 আপেক্ষিক তাপের সংজ্ঞা বল। অবস্থার পরিবর্তন না ঘটিয়া কোন বস্তুর উষ্ণতা বাড়িলে উহা যত তাপ গ্রহণ করে তাহা কোন্ কোন্ জিনিসের উপর কিভাবে নির্ভর করে?

(Define specific heat On what factors does the amount of heat received by a body depend if its temperature rises without involving any change in state?)

3 একটি তামার ক্যালরিমিটারের ওজন 93 2 গ্র্যাম, এবং উহাতে 25°C উষ্ণতায় 200 গ্র্যাম জল আছে। 102 85 গ্র্যাম ওজনের এক খণ্ড পাথর 100°C উষ্ণতায় উহার মধ্যে ফেলিলে ক্যালরিমিটারের সর্বোচ্চ উষ্ণতা কত হইবে? পাথরের আপেক্ষিক তাপ = 22 ক্যালরি/গ্র্যাম/°C তামার আপেক্ষিক তাপ = ·1 ক্যালরি/গ্র্যাম/°C.

(A copper calorimeter weighs 93·2 grams and contains 200 grams of water at 20°C. If a stone weighing 102·85 grams at 100°C be dropped into it, what will be the final highest temperature ? (sp. heat of the stone = ·22 cal./gram/°C ; sp. heat of copper = ·1 cal./gram/°C) [*Ans.* 27·81°C]

4. 70°C উষ্ণতায় 10 গ্র্যাম জল 0°C উষ্ণতায় 5 গ্র্যাম জলের সহিত মিশানো হইল। যে ক্যালরিমিটারে জল রাখা হইয়াছে উহার ওজন 13 গ্র্যাম হইলে এবং ঐ ক্যালরিমিটার যে পদার্থ দ্বারা নির্মিত তাহার আপেক্ষিক তাপ ·1 ক্যালরি/গ্র্যাম/°C হইলে মিশ্রণের সর্বোচ্চ তাপ কত হইবে ?

(10 grams of water at 70°C are mixed with 5 grams of water at 0°C contained in a calorimeter weighing 13 grams. If the sp. heat of the material of the calorimeter is ·1 cal./gram/°C, what will be the final highest temperature ?)

Ans. 42·9°C]

5. 514 গ্র্যাম সীসা 99°C উষ্ণতায় আছে। একটি ক্যালরিমিটারের ওজন 40 গ্র্যাম এবং উহাতে 15°C উষ্ণতায় 200 গ্র্যাম জল আছে। সীসার খণ্ডটি উহাতে ফেলিয়া জল নাড়িলে শেষ উচ্চ উষ্ণতা 21°C হইল। যদি ক্যালরিমিটার যে বস্তু দ্বারা প্রস্তুত তাহার আপেক্ষিক তাপ ·01 ক্যালরি/গ্র্যাম/°C হয় তবে সীসার আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় কর।

(A calorimeter weighs 40 grams and contains 200 grams of water at 15°C 514 grams of lead at 99°C are dropped into it and the water stirred. If the highest temperature recorded be 21°C, what is the sp. heat of lead ? Given the sp. heat of the material of the calorimeter = ·01 cal./gram/°C.)

[*Ans.* ·0299 cal./gram/°C]

6. তার্পিন তৈলের আপেক্ষিক তাপ ·428 ক্যালরি/গ্র্যাম/°C। 91°C উষ্ণতায় 10 গ্র্যাম নুন 125 গ্র্যাম ওজনের ঐ তেলের মধ্যে ফেলিলে তেলের উষ্ণতা 13°C হইতে 16°C হয়। যদি নুনের তাপ ঐ তৈল ভিন্ন অন্য কোন বস্তুতে যায় নাই ধরা হয়, তবে নুনের আপেক্ষিক তাপ কত হইবে ?

(Oil of turpentine has specific heat equal to ·428 cal./gram/°C. 10 grams of common salt at 91°C is dropped into it and the temperature rises from 13°C to 16°C. Supposing that the heat given out by the salt has all been gained by the oil, find the sp. heat of salt.) [*Ans.* ·214 cal./gram/°C]

দ্বিতীয় পাঠ

2.2 ক্যালরিমিটারের জলসম নির্ণয়ঃ

(1) ক্যালরিমিটারটিকে ওজন করিয়া উহার ভর জানা যাইবে। ক্যালরিমিটার যে পদার্থ দ্বারা নির্মিত তাহার আপেক্ষিক তাপ জানা থাকিলে ক্যালরিমিটারের ভরকে ঐ আপেক্ষিক তাপ দ্বারা গুণ করিয়া গুণফলকে গ্র্যামে প্রকাশ করিলে উহা ক্যালরিমিটারের জলসম প্রকাশ করিবে।

(2) সোজাসুজি পরীক্ষা দ্বারা এইভাবে ক্যালরিমিটারের জলসম নির্ণয় করা যায়।

প্রথমে একটি ক্যালরিমিটার ও স্টারার ওজন করিয়া লও। মনে কর, ইহার ওজন W_1 ; ইহার প্রায় অর্ধেক আয়তনের জল ইহার মধ্যে লইয়া ওজন কর, ধর এই ওজন W_2. জলের ওজন $=(W_2 - W_1)=m_1$ গ্র্যাম।

ঐ জলে একটি থার্মমিটার ডুবাইয়া জলের উষ্ণতা লিখিয়া রাখ। ধর ঐ উষ্ণতা t_1°C.

অন্য পাত্রে জল গরম কর এবং ঐ জল ভালরূপে নাড়িতে থাক। t_1°C হইতে প্রায় পাঁচ ডিগ্রি উষ্ণতা বৃদ্ধি পাইয়া ঐ জলের উষ্ণতা t_2°C হইলে ঐ পাত্র হইতে সাবধানে কিছু জল ঢালিয়া ক্যালরিমিটার প্রায় পূর্ণ কর। সঙ্গে সঙ্গে স্টারার দ্বারা জল নাড়িতে থাক এবং থার্মমিটার দেখ। মনে কর, থার্মমিটারের শেষ সর্বোচ্চ উষ্ণতা t_3°C.

জল সহ ক্যালরিমিটারকে ঠাণ্ডা হইতে দাও। ঠাণ্ডা হইয়া ঘরের উষ্ণতায় আসিলে উহাকে আবার ওজন কর। ধর ঐ ওজন W_3.

$\therefore$ যত ওজনের গরম জল লওয়া হইয়াছে তাহা

$$= W_3 - W_2 = m_2 \text{ গ্র্যাম।}$$

ঐ গরম জল t_2°C হইতে শেষ পর্যন্ত ঠাণ্ডা হইয়া t_3°C উষ্ণতায় আসিয়াছে।

$\therefore$ গরম জল দ্বারা বর্জিত তাপ = গরম জলের ভর × উষ্ণতার হ্রাস

$$= m_2 \times (t_2 - t_3)$$

ক্যালরিমিটার এবং জল ঐ তাপ পাইয়াছে এবং তাহাদের উষ্ণতা t_1°C হইতে বাড়িয়া t_3°C হইয়াছে।

$\therefore$ ঠাণ্ডা জল এবং ক্যালরিমিটার দ্বারা গৃহীত তাপ

$$= m_1 \times (t_3 - t_1) + W_1 \times S(t_3 - t_1)$$

$W_1 \times S$ = ক্যালরিমিটার ও স্টারারের জল-তুল্যমান বা জলসম

$= W$ ধর

$\therefore$ গৃহীত তাপ $= (m_1 + W)(t_3 - t_1)$

গৃহীত তাপ = বর্জিত তাপ

$$\therefore (m_1 + W)(t_3 - t_1) = m_2(t_2 - t_3)$$

$$\therefore m_1 + W = \frac{m_2(t_2 - t_3)}{(t_3 - t_1)}$$

$$W = \frac{m_2(t_2 - t_3)}{(t_3 - t_1)} - m_1.$$

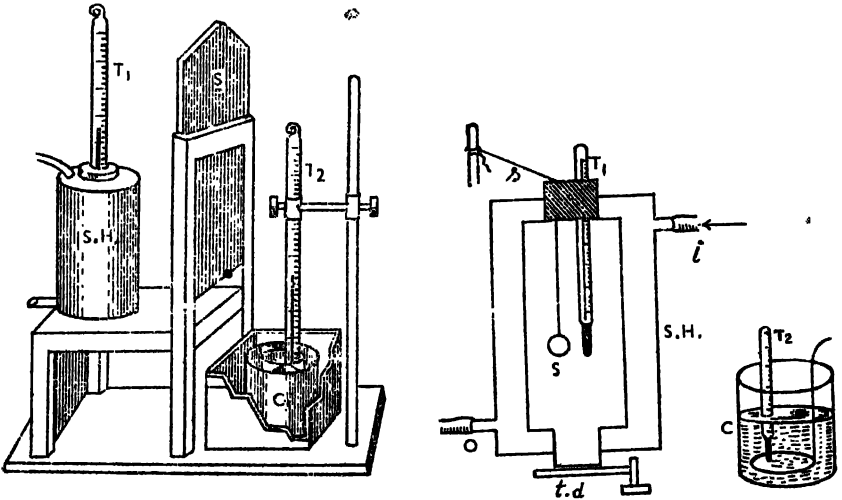
আমরা দক্ষিণ পক্ষের সকল রাশির মান জানি সুতরাং W-র মান নির্ণয় করা যায় —অর্থাৎ, এই পরীক্ষায় S পৃথকভাবে না জানিয়াও W নির্ণয় করা হইল।

2.21. মিশ্রণের নিয়মে আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় (Determination of the Specific Heat by the method of mixtures) ঃ

(a) কঠিন বস্তুর আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় ঃ

(67 পৃষ্ঠার অঙ্কের প্রদত্ত রাশিগুলি জানা থাকায় আমরা মার্বেলের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় করিতে পারিয়াছি। এখানে কি ব্যবস্থায় পরীক্ষা দ্বারা ঐ রাশিগুলি প্রকৃতপক্ষে জানা যায় তাহাই বলা হইতেছে।)

যে বস্তুর আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় করিতে হইবে তাহার উপযুক্ত সাইজের এক টুকরা লও। ইহাকে ওজন কর। ধর ঐ কঠিনের ভর m গ্র্যাম।

সুতা দিয়া বাঁধিয়া ঐ বস্তুখণ্ডকে একটি ষ্টীম হীটারের (Steam heater-এর) মধ্যে ঝুলাইয়া সুতাটি কর্কের একটি ছিদ্রের ভিতর দিয়া বাহির করিয়া আন। কর্কের অপর ছিদ্রের ভিতর দিয়া একটি থার্মমিটার ঢুকাইয়া থার্মমিটারের কুণ্ডটি কঠিন বস্তুখণ্ডের পাশে যাহাতে থাকে তাহার ব্যবস্থা কর এবং থার্মমিটারের মাত্র 93°C হইতে 100°C দাগ হীটারের বাহিরে রাখ। সুতার দৈর্ঘ্য সেইভাবে ঠিক কর।

রেণোর যন্ত্র দ্বারা আপেক্ষিক তাপ নির্ণয়ের ব্যবস্থা
বাম দিকে—S. H—স্টীম হীটার, S—কাঠের পর্দা, C—ক্যালরিমিটার, T_1, T_2—থার্মমিটার
ডান দিকে—যন্ত্রের অভ্যন্তর ; S—কঠিন বস্তু ; t.d—trap door

কর্ক দ্বারা স্টীম হীটারের মুখ বন্ধ কর। স্টীম হীটারের নীচের মুখ ক্ল্যাম্পে সংযুক্ত একখানা ধাতব পাত দ্বারা অস্থায়ীভাবে আটকাইয়া রাখ। এখন অন্য পাত্রে জল ফুটাইয়া স্টীম হীটারের ভিতর স্টীম পাঠাইতে থাক।

স্টীম হীটার একটি দুই দেওয়ালবিশিষ্ট সিলিণ্ডার আকৃতির পাত্র। মধ্যের সিলিণ্ডারের আকৃতি একটি চোঙের উপরের মুখ .কর্ক দ্বারা.এবং নীচের মুখ ধাতব পাত (*t.d*) দ্বারা বন্ধ করা হয়। ঐ পাত্রের বাহিরের জ্যাকেটের সহিত দুইটি নল যুক্ত থাকে—উপরের নল দিয়া ষ্টীম পাত্রের মধ্যে যায় এবং নীচের নল দিয়া বাহির হইয়া আসে। ভিতরের চোঙের মধ্যস্থ বায়ু ইহাতে গরম হইয়া কঠিন বস্তুখণ্ড এবং থার্মমিটারকে গরম করে। যন্ত্রের বাহিরের দিকে ফেল্টের আবরণ দেওয়া থাকে; ইহাতে যন্ত্র হইতে তাপ কম বিকিরিত হয়।

ঐ যন্ত্রের নিকটে একটি খাঁজে আটকানো খাড়া কাঠের পর্দার পশ্চাতে একটি কাঠের বাক্সে একটি কাঠের বড় ক্যালরিমিটারের আকৃতির পাত্রের মধ্যে তুলা দিয়া একটি ছোট ক্যালরিমিটার বসানো থাকে।

ভিতরের ছোট ক্যালরিমিটারটি স্টারার সহ ওজন কর। ধর ঐ ওজন W গ্র্যাম। ইহাতে অর্ধেকের একটু বেশী আয়তন পর্যন্ত জল লও।

আবার উহা ওজন কর, এই ওজন হইতে জলশূন্য ক্যালরিমিটারের ওজন বাদ দিলে জলের ওজন পাওয়া যাইবে। ধর ঐ ওজন m_1 গ্র্যাম। জলে একটি থার্মমিটার ডুবাইয়া রাখ এবং উষ্ণতা পড়িয়া লিখিয়া রাখ। মনে কর, ঐ উষ্ণতা $= t_1$°C.

যতক্ষণ পর্যন্ত স্টীম হীটারের থার্মমিটার এক নির্দিষ্ট উষ্ণতায় আসিয়া স্থির না হয় ততক্ষণ পর্যন্ত অপেক্ষা কর। স্টীম হীটারের থার্মমিটার নির্দিষ্ট উষ্ণতায় আসিয়া কিছু সময় স্থির থাকিবার পরে উহা পড়িয়া রাখ। মনে কর, ঐ উষ্ণতা t_2°C. এখন খাঁজ হইতে কাঠের পর্দাখানা তুলিয়া ক্যালরিমিটার স্টীম হীটারের চোঙের নীচে আনিয়া চোঙের নীচের ধাতব পাতটিকে ঠেলিয়া ঘুরাইয়া দাও এবং সঙ্গে সঙ্গে যে সুতা দ্বারা কঠিন বস্তুখণ্ডটি ঝুলানো ছিল তাহা ক্ল্যাম্প হইতে খুলিয়া সাবধানে ছাড়িয়া দাও—যাহাতে কঠিন বস্তুখণ্ড ক্যালরিমিটারের মধ্যে পড়ে অথচ উহার মধ্যস্থ জল না ছিটিয়া যায়।

কঠিন বস্তুখণ্ড ক্যালরিমিটারে পড়ার সঙ্গে সঙ্গে ক্যালরিমিটার: সরাইয়া আনিয়া স্টারারটি দ্বারা জল নাড এবং থার্মমিটারের উষ্ণতা কত হইয়াছে লক্ষ্য কর। সর্বোচ্চ বা শেষ উষ্ণতার পর পারদ আবার নামিতে থাকিবে। সর্বোচ্চ বা শেষ উষ্ণতা পড়িয়া লও। মনে কর, উহা t_3°C.

ধর যেন কঠিনের আপেক্ষিক তাপ S ; উহার উষ্ণতা t_2°C হইতে বৃদ্ধি পাইয়া t_3°C উষ্ণতায় আসিয়াছে

এক্ষণে 67 পৃষ্ঠার অঙ্ক কষিবার নিয়মে হিসাব করিলে দেখা যাইবে যে—

বর্জিত তাপ = গৃহীত তাপ

$$mS(t_2 - t_3) = W_1 \times S_1 \times (t_3 - t_1) + m_1(t_3 - t_1)$$

এই সমীকরণে S ব্যতীত অন্য সকল রাশির মান জানা আছে। সুতরাং S হিসাব করিয়া বাহির করা চলিবে। S_1 তামার আপেক্ষিক তাপ অথবা $W_1S_1 = W$ ক্যালরিমিটারের জল-তুল্যাঙ্ক বা জলসম।

(b) তরল বস্তুর আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় ঃ ঠিক পূর্বের পরীক্ষার ন্যায় এই পরীক্ষাটিও করিতে হইবে। কেবল জলের পরিবর্তে ক্যালরিমিটারে প্রদত্ত তরল পদার্থ ব্যবহার করিতে হইবে এবং যে উত্তপ্ত কঠিন বস্তুটি ইহাতে ছাড়া হইবে তাহার আপেক্ষিক তাপ আগে হইতে জানিয়া রাখিতে হইবে।

তরলের আপেক্ষিক তাপ S′ হইলে এইবার আমরা যে সমীকরণ পাইব তাহা হইবে $mS(t_2 - t_3) = W_1S_1(t_2 - t_1) + m_1S'(t_2 - t_1)$.

এক্ষেত্রে S এবং অন্যান্য রাশির মান জানা থাকায় S′ হিসাব করিয়া বাহির করা যাইবে।

অঙ্ক ঃ একটি তামার ক্যালরিমিটারের ওজন 180 গ্র্যাম, তামার আপেক্ষিক তাপ ·09. উহার উষ্ণতা 25°C হইতে 65°C পর্যন্ত বাড়াইতে কত তাপ লাগিবে নির্ণয় কর।

এখানে অবস্থান্তরের প্রশ্ন জড়িত নহে। সুতরাং ক্যালরিমিটার যে তাপ গ্রহণ করিবে তাহার মান—

= ক্যালরিমিটারের ভর × আপেক্ষিক তাপ × উষ্ণতা বৃদ্ধি

= 180 × ·09(65 − 25) ক্যালরি

= 180 × ·09 × 40 ক্যালরি

= 648 ক্যালরি।

প্রশ্ন

1. কোন বস্তুর জলসম বলিলে কি বুঝায়? কিভাবে একটি ক্যালরিমিটারের জলসম নির্ণয় করা যায় বর্ণনা কর এবং আবশ্যক সূত্র কিভাবে পাওয়া যায় দেখাও।

(What is meant by 'water equivalent' of a substance? Describe how the water equivalent of a calorimeter may be determined and deduce the formula to be used.)

2. আপেক্ষিক তাপের সংজ্ঞা বল। কিভাবে একখণ্ড পাথরের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় করিবে বর্ণনা কর। 'তামার আপেক্ষিক তাপ ·09' ইহার প্রকৃত অর্থ কি?

(Define specific heat. Describe how you would determine the specific heat of a piece of stone? What is the real meaning of the statement 'the specific heat of copper is ·09'?)

3. তরলের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় করিতে হইলে কিভাবে উহা নির্ণয় করিবে ?
(How would you determine the specific heat of a liquid ?

4. ফট্‌কিরি জলে দ্রবীভূত হয়। ফট্‌কিরির আপেক্ষিক তাপ কিভাবে নির্ণয় করা যাইতে পারে ?
(Alum is soluble in water. How can its specific heat be determined ?)

5. একটি লোহার বল এবং সাধারণ থার্মমিটার ও ক্যালরিমিটারের সাহায্যে কিভাবে কোন অগ্নিকুণ্ডের উষ্ণতা নির্ণয় করা যায় বল।

(Indicate how with the aid of an iron ball, an ordinary thermometer and a calorimeter you would determine the temperature of a furnace.)

Additional Numerical Problems

1. Calculate the quantity of heat required to raise 500 grams of copper from 0°C to 100°C. Given specific heat of copper = ·09 cal./gram/°C. [*Ans.* 4500 cal.]

2. Calculate the heat required to raise 1200 grams of ice from − 22°C to − 2°C. Given specific heat of ice = ·5. [*Ans.* 12000 cal.]

3. A copper calorimeter is of mass 92 grams ; what are its water equivalent and thermal capacity ? Given specific heat of copper = ·1 cal./gram per °C. [*Ans.* 9·2 grams. ; 9·2 calories]

4. A piece of stone of weight 157·3 gm. is heated to 98°C and dropped in a copper calorimeter containing 120 gms. of water at 30°C. If the specific heat of stone is ·22, find the resulting temperature assuming the water equivalent of the calorimeter to be 9·2 gm. [*Ans.* 44·37°C]

5. An iron ball of mass 200 gm. was heated to 100°C and then dropped in a copper calorimeter of mass 12 grams containing 174·2 grams of water at 27·3°C. The final highest temperature after stirring was found to be 35·6°C ; calculate the specific heat of iron. [*Ans.* ·12]

6. A copper calorimeter weighing 124 gms. is at the room temperature of 26°C. Some oil at 100°C is poured into it and stirred well. The final lighest temperature was 32·8°C. Find the mass of the oil poured in, if the specific heat is ·44. (Sp. heat of copper is ·1) [*Ans.* 2·851 gm.]

7 A weight thermometer containing 263·7 gms. of mercury in a glass bulb of weight 53·65 gms. is at the room temperature which is 22·7°C. It is then placed in a beaker containing an oil of sp. heat ·44 and mass 360 gms. at a temperature of 212°C. Find the final temperature ; given sp. heat of mercury = ·034 of glass = ·16 and water equivalent of the beaker = 15·7 gm. [*Ans.* 194·8°C]

8. A copper ball of mass 250 gms. is heated to 300°C and then dropped into a vessel containing 1000 gms. of mercury at 25°C when the temperature became steady, 500 gms. of this mercury was transferred to 100 grams of water at 0°C contained in a calorimeter. Neglecting the water equivalent of the two vessels, calculate the final temperature of water. (Sp. heat of copper = ·1 and of mercury = ·035) [*Ans.* 20·8°C approx.]

9. A lump of iron of mass 800 gms. is quickly transferred from a furnace into a calorimeter containing 1200 grams of oil of specific heat ·43 contained in a calorimeter of water equivalent 87 gms. at 30°C and the final temperature was 157·35°C. Find the temperature of the furnace, given specific heat of iron ·12. [*Ans.* 853·45°C]

10. An alloy of two metals weighs 150 gms. and is at the room temperature which is 25°C. On droppping it into a crucible containing water at 98°C the final temperature became 78·7°C. If the mass of water in the crucible was 28 gms. and the water equivalent of the crucible 1·21 grams, find the thermal capacity of the alloy.

If the sp. heats of the two metals be ·09 and ·03, find the masses of the two metals in the alloy. [*Ans.* 10·5 cal. ; 100 and 50 gms.]

Public Examination Questions

1. Explain 'Specific heat of lead is 0·03'. Define thermal capacity.

Two exactly similar kettles—one containing water and the other an equal mass of milk—are placed side by side on a fire. The rise of temperature of milk is found to take place at a quicker rate than in the case of water. Explain.

Indicate briefly how you would determine the specific heat of a solid.

200 gms. of lead are heated upto 100°C and dropped into a vessel containing 200 gms. of a liquid of specific heat 0·5. If the initial temperature of the liquid were 0°C. find its final temperature, assuming that the vessel does not absorb any heat.

[*Ans.* 5·66°C] [H. S. 1960]

2. Define the terms 'Calorie' and 'B. Th. U.'

Distinguish between water equivalent and the thermal capacity of a body.

State the units used in expressing them in any one system.

An iron saucepan contains 100 gms. of water at 25°C, 50 gms. of water at 60°C are poured into the pan and the resultant temperature is found to be 35°C. Calculate the water equivalent of the pan assuming no loss of heat by radiation or otherwise. If the mass of the pan be 238 gms., what is the specific heat of iron ?

[*Ans.* 25 gm. ; ·105]

3. (a) Why does a pound of iron heated to 100°C sinks further into ice than a pound of lead of the same temperature ?

(b) What is meant by saying that the specific heat of water is 30 times as great as that of mercury ? [C. U. I. Sc. 1942]

4. Define specific heat and water equivalent.

A copper calorimeter weighs 180 gms. and the specific heat of the material is ·09. Find the quantity of heat required to raise temperature from 25°C to 65°C. [*Ans.* 648 cal.] [C. U. I. Sc. 1943]

5. A piece of metal weighing 50 gms. is heated to a temperature of 1000°C and quickly dropped into a calorimeter containing 200 gms. of water at 25°C. The water equivalent of the calorimeter is 10 grams and the specific heat of the metal piece is 0·1. Calculate the rise in temperature of water. [*Ans.* 22·67°C] [C. U. I. Sc. 1949]

6. Distinguish between thermal capacity and water equivalent.

Find the water equivalent of a calorimeter which contains 60 gms. of water at 25°C, to which are added 45 gms. of water at 50°C, the final temperature of the mixture being 35°C.

If the weight of the calorimeter is 80·6 gms. what further information can you obtain ?

[*Ans.* 7·5 gm. ; Sp. heat ·093] [C. U. I. Sc. 1950]

তৃতীয় অধ্যায়

গলন, বাষ্পায়ন ও বায়ুর আর্দ্রতা

প্রথম পাঠ

3.1. অবস্থার পরিবর্তন ঃ

তাপের ফলে কোন কোন বস্তু কঠিন হইতে তরল এবং তরল হইতে বায়বীয় অবস্থায় পরিণত হয়। এই সম্পর্কে আগে উল্লেখ করা হইয়াছে।

গলন (Melting) ঃ কঠিন বস্তুতে তাপ দিলে উহার উষ্ণতা ক্রমশ বাড়ে; ঐ উষ্ণতা বাড়িয়া ক্রমে এমন এক উষ্ণতায় বস্তু আসে যখন উহা তরল হইতে আরম্ভ করে; তখন তাপ দেওয়া সত্ত্বেও আর ঐ কঠিনের উষ্ণতা বৃদ্ধি হয় না। যে উষ্ণতায় কঠিন বস্তু তাপে তরল অবস্থায় রূপান্তরিত হইতে থাকে তাহাকে **গলনাঙ্ক (Melting point)** বলে।

বিশুদ্ধ ধাতু ও দানাদার পদার্থ প্রভৃতির নিজস্ব বিশিষ্ট গলনাঙ্ক আছে—অর্থাৎ, উহাদের প্রত্যেক বস্তু এক নির্দিষ্ট উষ্ণতায় গলিবে। কিন্তু ধাতু অবিশুদ্ধ হইলে অথবা রাসায়নিক বস্তু দানাদার না হইলে গলনাঙ্ক একেবারে সঠিক হয় না।

কঠিন বস্তু গলিয়া তরল হওয়ার পর উহাকে (অথবা সাধারণ উষ্ণতার কোন তরল বস্তুকে) ঠাণ্ডা করিতে থাকিলে দেখা যায় যে, উষ্ণতা কমিয়া এক নির্দিষ্ট উষ্ণতায় আসিলেই উহা কঠিন অবস্থা প্রাপ্ত হয়। ঐ নির্দিষ্ট উষ্ণতাকে তরলের **হিমাঙ্ক (Freezing point)** বলে।

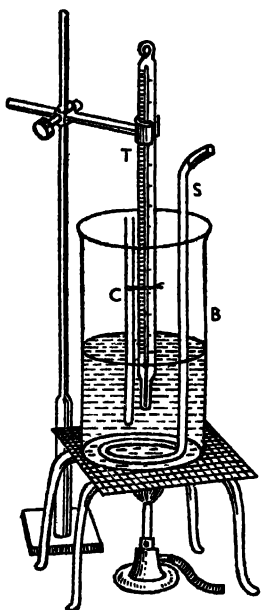
সাধারণত একই দানাদার বস্তুর কঠিন অবস্থার গলনাঙ্ক তরলের হিমাঙ্কের সহিত সমান হয়।

চাপের প্রভেদ খুব বেশী না হইলে বস্তুর গলনাঙ্ক বা হিমাঙ্কের বিশেষ পরিবর্তন হয় না।

সাধারণত বস্তুর গলনাঙ্ক বায়ুমণ্ডলের চাপে ঐ বস্তু যে উষ্ণতায় গলে তাহাই নির্দেশ করে।

3.12. সাধারণ বস্তুর (ন্যাপথেলিনের) গলনাঙ্ক নির্ণয় ঃ

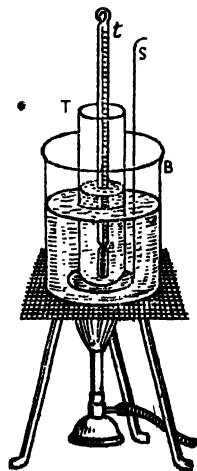
(1) কৈশিক নলের সাহায্যে—একটি পাত্রে অল্প একটু ন্যাপথেলিন গলাইয়া লইয়া একটি কাঁচের কৈশিক নলে একটু তরল তুলিয়া লও। কৈশিক নলের নীচের দিক স্পিরিট ল্যাম্পের বা বার্ণারের সাহায্যে গলাইয়া বন্ধ কর।

ঐ কৈশিক নল ঠাণ্ডা হইলে উহার ভিতরের ন্যাপথেলিন কঠিন হইয়া যাইবে। ঐ নলকে একটি থার্মমিটারের সহিত এমনভাবে সুতা দ্বারা বাঁধ যেন নলের মধ্যস্থ ন্যাপথেলিনটুকু থার্মমিটারের পারদের কুণ্ডের খুব কাছাকাছি থাকে।

কৈশিক নলের সাহায্যে গলনাঙ্ক নির্ণয়; T থার্মমিটার, C কৈশিক নল, S স্টারার

এখন ঐ নল সহ থার্মমিটার একটি বীকারের জলে ডুবাইয়া রাখ এবং জল গরম করিতে থাক ও একটি স্টারারের সাহায্যে ক্রমাগত নাড়িতে থাক। যখন কৈশিক নলের মধ্যস্থ কঠিন বস্তু তরল অবস্থায় পরিণত হইবে তৎক্ষণাৎ থার্মমিটার পড়িয়া উষ্ণতা লিখিয়া রাখ। এখন বীকারের নীচ হইতে বার্ণার সরাইয়া জল নাড়িতে থাক। কিছু সময় পরে তরল আবার কঠিন হইবে। তখন আবার থার্মমিটার পড়। যে দুই উষ্ণতা পড়িয়াছ তাহার গড় লইলে উহাই ন্যাপথেলিনের গলনাঙ্ক হইবে।

(২) **লেখচিত্রের সাহায্যে**—একটি পরখনলে কিছু ন্যাপথেলিন লও। ইহাকে গলাইয়া তরলের মধ্যে থার্মমিটারের কুণ্ডটি ডুবাইয়া দাও। পরখনল ঠাণ্ডা হইলে থার্মমিটারটি ঐ কঠিনের মধ্যে আবদ্ধ হইয়া থাকিবে।

একটি বীকারে উপযুক্ত পরিমাণ জল লইয়া উহাতে পরখনলটির নীচের অংশ ডুবাইয়া রাখ। একটি স্টারারের সাহায্যে বীকারের জল নাড়িবার ব্যবস্থা রাখ।

বীকারের জল গরম করিতে থাক এবং স্টারার দ্বারা নাড়িতে থাক। ন্যাপথেলিন গলিয়া গেলে বীকারের নীচ হইতে বাতি সরাইয়া দাও। এখন জল নাড়িতে থাক এবং আধমিনিট পর পর থার্মমিটার দেখিয়া উষ্ণতা লিখিয়া রাখ। হাতঘড়ি দ্বারা আধমিনিট সময় দেখা অসুবিধা বোধ করিলে স্টপ-ওয়াচ ব্যবহার করিতে পার। যখন তরল ন্যাপথেলিন জমিয়া কঠিন হইয়া যাইবে তখন সময় ও উষ্ণতা দেখা বন্ধ কর।

গলনাঙ্ক নির্ণয়

এখন ছক কাগজে X-অক্ষে সময় এবং Y-অক্ষে উষ্ণতা প্রকাশ করিয়া বিন্দু স্থাপন কর। ঐ বিন্দুগুলি যোগ করিলে যে প্রকার লেখচিত্র পাওয়া যাইবে তাহা চিত্রে দেখানো হইল। ঐ লেখচিত্রের যে অংশ X-অক্ষের সমান্তরাল তাহার অর্থ এই যে ঐ সময়ের মধ্যে বস্তুর উষ্ণতা সময়ের সঙ্গে কমে নাই। তাপ কমানো হইতেছে অথচ উষ্ণতা কমিতেছে না এই ব্যাপার ঘটে অবস্থার রূপান্তরের সময়ে—এই ক্ষেত্রে তরল বস্তু কঠিন হইবার সময়ে।

0 TIME

লেখচিত্রের t_m বিচ্ছিন্ন রেখার উপরের এবং নীচের অংশ সময়ের সঙ্গে উষ্ণতা কমিতেছে ইহাই নির্দেশ করে ; ঐ দুই অংশের মাঝের অংশে সময়ের সহিত উষ্ণতা পরিবর্তন হইতেছে না

সুতরাং এই ক্ষেত্রে লেখচিত্রের যে অংশ X-অক্ষের সমান্তরাল তাহা তরল হইতে কঠিন অবস্থায় রূপান্তরের উষ্ণতা প্রকাশ করিতেছে। অর্থাৎ, ঐ উষ্ণতা তরলের হিমাঙ্ক, সুতরাং কঠিনের গলনাঙ্ক।

3.11. লীন তাপ (Latent Heat) ঃ

বস্তুর অবস্থার পরিবর্তনের সময়ে, যথা কঠিন হইতে তরল অথবা তরল হইতে বায়বীয় হইবার কালে, বস্তুর উষ্ণতার পরিবর্তন ঘটে না, কিন্তু তাপ দিতে হয় ; আবার গ্যাসীয় বস্তুকে তরল করিতে হইলে অথবা তরল বস্তুকে কঠিন অবস্থায় রূপান্তরিত করিতে হইলে বস্তুর তাপ হ্রাস করিতে হইবে কিন্তু উহার উষ্ণতা কমিবে না।

যদি এক খণ্ড বড় বরফের মধ্যে একটি গর্ত করিয়া একটি থার্মমিটার ঢুকাইয়া রাখা হয় এবং ঐ বরফখণ্ডকে একটা বড় পাত্রে রাখিয়া গরম করিতে আরম্ভ করা যায় তবে দেখা যাইবে যে বরফ গলিয়া জল হইতেছে এবং পাত্রের সংলগ্ন জলও বেশ গরম হইয়াছে কিন্তু বরফে ডুবানো থার্মমিটারে ঠিক 0°C উষ্ণতাই দেখাইতেছে। অর্থাৎ, কঠিন বস্তু তাপের ফলে তরল হইবার সময়ে ঐ কঠিন বস্তুর উষ্ণতা বাড়ে না—রূপান্তরিত তরল পদার্থের উষ্ণতা বাড়িতে পারে।*

---

* কঠিন পদার্থ গলিয়া তরল হইলে উহাকে তরল ও কঠিনের মিশ্রণ বলা যায়। অনেকের ধারণা যে কঠিন বস্তুর শেষ কণা পর্যন্ত গলিয়া তরল না হওয়া পর্যন্ত ঐ মিশ্রণের কোন অংশের উষ্ণতাই বাড়িবে না ; ইহা ভুল।

এখন প্রশ্ন এই যে ঐ প্রদত্ত তাপ বস্তুর উষ্ণতা না বাড়াইয়া কোথায় গেল? ঐ প্রদত্ত তাপশক্তি বস্তুর অবস্থার রূপান্তর ঘটাইবার জন্য ব্যয়িত হইল। আমরা জানি শক্তি প্রয়োগ না করিয়া বস্তুর কোনপ্রকার পরিবর্তন সংঘটন করা যায় না; সুতরাং এই ক্ষেত্রে বরফকে জলে পরিণত করিবার জন্য শক্তি আবশ্যক; ঐ শক্তি শুধু তাপরূপে দেওয়া হয় এবং ঐ শক্তি শুধু অবস্থার পরিবর্তন ঘটাইবার জন্য ব্যয় হয়। যদি কোন নির্দিষ্ট ভরের কোন বস্তুর কেবল অবস্থার পরিবর্তনের জন্য যতটুকু তাপ প্রয়োজন ঠিক ততটুকু তাপই ঐ বস্তুতে দেওয়া হয়, তবে তরলের উষ্ণতা বাড়িবে না; কিন্তু ইহা অপেক্ষা বেশী তাপ দিলে তরলের উষ্ণতা বাড়িবে।

দেখা গিয়াছে যে, 0°C উষ্ণতায় বরফের প্রতি গ্র্যামে 80 ক্যালরি তাপ দিলে উহা 0°C উষ্ণতায় এক গ্র্যাম জলে পরিণত হয়। আবার 0°C উষ্ণতায় এক গ্র্যাম জল হইতে কোন উপায়ে 80 ক্যালরি তাপ হ্রাস করিতে পারিলে উহা 0°C উষ্ণতায় এক গ্র্যাম বরফে পরিণত হয়। ঐ তাপকে বরফের **লীন তাপ (Latent Heat)** বলা হয়।

সংজ্ঞা—কোন কঠিন বস্তু গলনাঙ্কের উষ্ণতায় প্রতি গ্র্যামে যত ক্যালরি তাপ গ্রহণ করিয়া ঐ উষ্ণতার তরলে রূপান্তরিত হয় তাহাকে ঐ বস্তুর গলনের লীন তাপ বলে। আবার ঐ বস্তু তরল অবস্থায় হিমাঙ্কের উষ্ণতায় প্রতি গ্র্যামে যত ক্যালরি তাপ বর্জন করিয়া ঐ উষ্ণতায় কঠিনে রূপান্তরিত হয় তাহাও ঐ লীন তাপের সমান।

স্ফুটনাঙ্ক (Boiling point): তরল হইতে গ্যাসীয় এবং গ্যাসীয় হইতে তরল অবস্থায় পরিণত হওয়ার জন্য লীন তাপ আবশ্যক হয় এবং অবস্থান্তরের সময় উষ্ণতার পরিবর্তন হয় না।

একটি বীকারে কিছু জল লইয়া উহাকে ফুটাইতে থাক এবং থার্মমিটার দ্বারা জলের উষ্ণতা লক্ষ্য কর। দেখ যতক্ষণ জল টগবগ করিয়া ফুটিতে থাকিবে ততক্ষণ উষ্ণতার পরিবর্তন হইবে না। একটির পরিবর্তে বীকারের নীচে দুইটি বাতি দ্বারা তাপ দিলেও জলের উষ্ণতা বাড়িবে না—শুধু জল আরও দ্রুত বাষ্প হইয়া যাইবে। দেখা গিয়াছে যে 100°C উষ্ণতায় প্রতি গ্র্যাম জল 100°C উষ্ণতাবিশিষ্ট স্টীমে রূপান্তরিত হইবার সময়ে 537 ক্যালরি তাপ গ্রহণ করে। আবার 100°C উষ্ণতায় প্রতি গ্র্যাম স্টীম 100°C উষ্ণতায় জলে পরিণত হইবার সময়ে 537 ক্যালরি তাপ বর্জন করে। সুতরাং 100°C উষ্ণতায় স্টীমের লীন তাপ 537 ক্যালরি।

3.14. বাষ্পায়নের লীন তাপ (Latent Heat of Vaporisation):

কোন তরল পদার্থ গ্যাসীয় অবস্থায় রূপান্তরিত হইবার সময়ে নির্দিষ্ট উষ্ণতায়

প্রতি গ্র্যামে যত তাপ গ্রহণ করে তাহাকে ঐ তরলের ঐ উষ্ণতার বাষ্পায়নের লীন তাপ বলে। আবার ঐ গ্যাসীয় বস্তু ঐ উষ্ণতায় তরল হইবার সময়ে প্রতি গ্র্যামে একই পরিমাণ তাপ বর্জন করে।

অঙ্ক ঃ (1) 15 গ্র্যাম বরফকে $-20°C$ হইতে ক্রমে তাপ দিতে দিতে $100°C$ উষ্ণতায় স্টীমে পরিণত করা হইল। ইহাতে কত ক্যালরি তাপের প্রয়োজন হইল? (বরফের আপেক্ষিক তাপ = ·5, বরফের লীন তাপ 80 ক্যালরি/গ্র্যাম; স্টীমের লীন তাপ 537 ক্যালরি/গ্র্যাম)।

এই প্রশ্নে দুইটি অবস্থার রূপান্তর জড়িত আছে; একটি $0°C$ উষ্ণতায় বরফ হইতে জলে রূপান্তর; অন্যটি $100°C$ উষ্ণতায় জল হইতে স্টীমে রূপান্তর।

বরফ যে তাপ শোষণ করিবে তাহার হিসাব এইরূপ—

(i) কঠিন বস্তু হিসাবে $-20°$ উষ্ণতা হইতে $0°C$ উষ্ণতা পর্যন্ত $20°C$ উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য। ইহার জন্য যে তাপ প্রয়োজন তাহার মান—

= বরফের ভর × আপেক্ষিক তাপ × উষ্ণতা বৃদ্ধি (এর মধ্যে অবস্থার রূপান্তর নাই)

$= 15 \times \cdot 5 \times 20 = 150$ ক্যালরি।

(ii) বরফ $0°C$ উষ্ণতায় জলে পরিণত হওয়ার জন্য যে তাপ শোষণ করিবে, তাহার মান = বরফের ভর × লীন তাপ (অবস্থার পরিবর্তন হইতেছে)

$= 15 \times 80 = 1200$ ক্যালরি।

(iii) $0°C$ উষ্ণতা হইতে $100°C$ উষ্ণতা পর্যন্ত জল গরম হইতে যে তাপ শোষণ করিবে তাহার মান

= জলের ভর × আপেক্ষিক তাপ × উষ্ণতা বৃদ্ধি

(এর মধ্যে অবস্থার রূপান্তর নাই)

$= 15 \times 1 \times 100 = 1500$ ক্যালরি।

(iv) $100°C$ উষ্ণতায় জল স্টীমে পরিণত হইতে যে তাপ লাগিবে তাহার মান

$= 15 \times 537$ ক্যালরি (অবস্থার পরিবর্তন)

$= 8055$ ক্যালরি।

∴ মোট তাপ আবশ্যক

$(150 + 1200 + 1500 + 8055)$ ক্যালরি

$= 10905$ ক্যালরি।

অঙ্ক ঃ (2) 125 গ্র্যাম টিন $32°C$ উষ্ণতায় আছে। উহাকে গলাইতে কত তাপ প্রয়োজন হইবে? (টিনের গলনাঙ্ক $232°C$ এবং আপেক্ষিক তাপ ·05; লীন তাপ প্রতি গ্র্যামে 14 ক্যালরি।)

(i) গলনের পূর্ব পর্যন্ত অবস্থার পরিবর্তন নাই। 125 গ্র্যাম টিনকে 32°C হইতে 232°C পর্যন্ত গরম করিতে যে তাপ প্রয়োজন তাহার মান

= ভর × আপেক্ষিক তাপ × উষ্ণতা বৃদ্ধি

= 125 × ·05 × 200 ক্যালরি

= 1250 ক্যালরি।

(ii) 232°C উষ্ণতায় টিন গলে, অর্থাৎ লীন তাপ গ্রহণ করিয়া অবস্থার পরিবর্তন ঘটে।

প্রতি গ্র্যামে 14 ক্যালরি তাপ আবশ্যক। সুতরাং 125 গ্র্যাম টিন গলিতে যে তাপ আবশ্যক তাহার মান

= 125 × 14 ক্যালরি

= 1750 ক্যালরি।

∴ মোট তাপের পরিমাণ = (1250 + 1750) ক্যালরি

= 3000 ক্যালরি।

3.11. (a) লীন তাপ নির্ণয় (Determination of Latent Heat) ঃ

A. বরফের লীন তাপ নির্ণয় ঃ ইহার জন্য প্রথমে একটি তার-জালি দিয়া ঘেরা স্টারার সহ খালি শুষ্ক ও পরিষ্কার ক্যালরিমিটার ওজন করিয়া ওজন লিখিয়া রাখ। একটু পরে বেশী জল লইয়া আবার ক্যালরিমিটার ওজন কর। ঐ দুই ওজন হইতে জলের ভর (ধর m_1) এবং ক্যালরিমিটারের ভর W পৃথকভাবে জানা যাইবে।

ক্যালরিমিটারের মধ্যে একটি থার্মমিটার ডুবাইয়া জলের প্রাথমিক উষ্ণতা লিখিয়া রাখ। এখন ছোট একটুকরা বরফ লইয়া ব্লটিং কাগজ দ্বারা উহার বাহিরের সবদিক হইতে জল শোষণ করিয়া লও, এবং উহাকে ব্লটিং কাগজ দ্বারা ধরিয়াই ক্যালরিমিটারের মধ্যে ফেলিয়া দাও। তারের জালযুক্ত স্টারার দ্বারা উহাকে সব সময় জলের নীচে রাখিয়াই জল নাড়িতে থাক। থার্মমিটার দ্বারা সর্বনিম্ন উষ্ণতা দেখিয়া লিখিয়া রাখিতে হইবে।

ক্যালরিমিটার আবার ঘরের বায়ুর উষ্ণতায় আসিলে উহাকে ওজন করিলে যত ভরের বরফ উহাতে গলিয়াছে তাহার পরিমাণ জানা যাইবে। মনে কর, ঐ ভর m_2.

মনে কর, ক্যালরিমিটারের প্রাথমিক উষ্ণতা ছিল t_1 এবং বরফ দেওয়ার পর শেষ নিম্ন উষ্ণতা হইয়াছিল t_2. তামার আপেক্ষিক তাপ S ধর।

ক্যালরিমিটার যে তাপ হারাইয়াছে তাহার মান

$$=(Ws+m_1)(t_2-t_1)$$

বরফ যে তাপ পাইয়াছে তাহার মান

$$= m_2L + m_2(t_2 - 0)$$
$$= m_2L + m_2t_2$$

এস্থলে বরফের লীন তাপ L ধরা হইয়াছে। প্রতি গ্র্যাম বরফ গলিবার জন্ম L ক্যালরি তাপ আবশুক, সুতরাং m_2 গ্র্যামের জন্ম m_2L তাপ আবশুক। ঐ বরফ m_2L তাপ লইয়া 0°C উষ্ণতার জলে পরিণত হওয়ার পর ঐ জলের উষ্ণতা 0°C হইতে t_2°C পর্যন্ত বাড়িয়াছে। সুতরাং উহা ঐ সময়ে $m_2(t_2 - 0) = m_2t_2$ ক্যালরি তাপ গ্রহণ করিয়াছে।

গৃহীত তাপ = বর্জিত তাপ

$$\therefore \quad m_2L + m_2t_2 = (Ws + m_1)(t_2 - t_1)$$

$$L = \frac{(Ws + m_1)(t_2 - t_1)}{m_2} - t_2$$

ঠিক মত পরীক্ষা করিলে ঐ L এর মান, অর্থাৎ বরফের লীন তাপ প্রতি গ্র্যামে 80 ক্যালরি পাওয়া যাইবে।

সাবধানতা—এই পরীক্ষার জন্ম খুব অল্প পরিমাণ বরফ লইতে হইবে, যাহাতে ক্যালরিমিটারের সর্বনিম্ন উষ্ণতা শিশিরাঙ্কের নীচে না নামে। নামিলে বায়ুস্থ জলীয় বাষ্প ক্যালরিমিটারের গায়ে জমিয়া উহার ওজন বাড়াইয়া দিবে।

B. স্টীমের লীন তাপ নির্ণয় (Determination of the Latent Heat of Steam) :

প্রথমে একটি ক্যালরিমিটার ও স্টারার খালি অবস্থায় ওজন কর, এবং ঐ ওজন লিখিয়া রাখ। উহার মধ্যে কিছু জল লইয়া আবার ওজন কর। মনে কর ক্যালরিমিটারের ওজন W এবং জলের ওজন m_1 গ্র্যাম।

স্টীমের লীন তাপ নির্ণয়
S. T.—Steam trap

এখন থার্মমিটার ক্যালরিমিটারের মধ্যে ডুবাইয়া উহার প্রাথমিক উষ্ণতা দেখিয়া রাখ। স্ফুটন পাত্রে জল ফুটাইয়া স্টীম প্রস্তুত করিয়া ঐ স্টীম কাঁচনল ও স্টীম ট্র্যাপ নামক যন্ত্রের মধ্য চালাইয়া ক্যালরিমিটারের মধ্যে আনিতে থাক।

স্টীম ট্র্যাপ একটি মোটা কাঁচের নল ; ইহার মধ্যে একটি নল দ্বারা স্টীম আসে এবং অপর একটি নির্গম নলের মধ্য দিয়া স্টীম বাহির হইয়া গিয়া ক্যালরিমিটারে পৌঁছে। এই উপায়ে স্টীম জমিয়া যে জল উৎপন্ন হয় তাহা ক্যালরিমিটারে যাইবে না, শুধু স্টীমই ক্যালরিমিটারের মধ্যে পৌঁছিতে পারিবে।

কিছু সময় স্টীম পাঠাইয়া যখন জলের উষ্ণতা 5°C পর্যন্ত বাড়িবে, তখন ক্যালরিমিটারের সর্বশেষ চরম উষ্ণতা পড়িয়া লিখিয়া রাখ। এইবার ক্যালরিমিটারকে ঠাণ্ডা হইতে দাও এবং ঠাণ্ডা হওয়ার পর ইহার ওজন লও। তাহা হইলে অতিরিক্ত ওজনের স্টীম যাহা ক্যালরিমিটারে আসিয়া জমিয়া জল হইয়াছে তাহার পরিমাণ জানা যাইবে। মনে কর ইহার পরিমাণ m_2.

m_2 গ্র্যাম স্টীমের প্রতি গ্র্যাম L লীন তাপ ত্যাগ করিয়া 100°C উষ্ণতার জলে পরিণত হইবে। ঐ জল আবার ঠাণ্ডা হইয়া ক্যালরিমিটারের শেষ উষ্ণতা t_1 হইবে।

সুতরাং স্টীম যে তাপ বর্জন করিবে তাহার মান $= m_2L + m_2(100 - t_2)$

জল ও ক্যালরিমিটার যে তাপ পাইবে তাহার মান $= (Ws + m_1)(t_2 - t_1)$

$$\therefore \quad m_2L + m_2(100 - t_2) = (Ws + m_1)(t_2 - t_1)$$

$$L = \frac{(Ws + m_1)(t_2 - t_1)}{m_2} - (100 - t_2)$$

100°C উষ্ণতায় স্টীমের লীন তাপ 538·86 ক্যালরি/গ্র্যাম।

[দ্রষ্টব্য : সাধারণ কাজের জন্য 100°C উষ্ণতার স্টীমের লীন তাপ 537 এবং কখন কখন 540 পর্যন্ত ধরা হয়।

অঙ্ক (1)—50 গ্র্যাম জল 30°C উষ্ণতায় আছে। ইহার মধ্যে 7 গ্র্যাম −10°C উষ্ণতার বরফ ছাড়িয়া দেওয়া হইল। যদি জল ও বরফ ভিন্ন অন্য কোন বস্তুর মধ্যে তাপের আদানপ্রদান না ঘটিয়া থাকে তবে ঐ মিশ্রণের ফল কি হইবে? (বরফের আপেক্ষিক তাপ ·5 এবং গলনের লীন তাপ 80 ক্যালরি/গ্র্যাম।)

মনে কর মিশ্রণের শেষ উষ্ণতা t°C হইবে।

তাহা হইলে বরফ যে তাপ পাইয়াছে তাহার পরিমাণ

(*i*) −10°C হইতে 0°C উষ্ণতায় আসিতে যে তাপ প্রয়োজন = ভর × আপেক্ষিক তাপ × উষ্ণতা বৃদ্ধি (কারণ −10°C হইতে 0°C-এর মধ্যে বরফের অবস্থার পরিবর্তন নাই।)

$$= 7 \times \cdot 5 \times 10 \text{ ক্যালরি।}$$

(*ii*) 0°C উষ্ণতায় বরফ গলিয়া 0°C উষ্ণতার জলে পরিণত হইতে যে তাপ প্রয়োজন

$$= 7 \times 80 \text{ ক্যালরি।}$$

(iii) $0°C$ এর জল $t°C$ পর্যন্ত উষ্ণ হইতে যে তাপ প্রয়োজন

$$= 7 \times 1 \times t \text{ ক্যালরি।}$$

(iv) $30°C$ উষ্ণতার জল যে তাপ হারাইয়াছে $= 50 \times 1 \times (30 - t)$ ক্যালরি

গৃহীত তাপ = বর্জিত তাপ

$$7 \times \cdot5 \times 10 + 7 \times 80 + 7 \times t = 50(30 - t)$$

$$\text{অথবা} \quad 35 + 560 + 7t = 1500 - 50t$$

$$57t = 1500 - 595$$

$$t = \frac{905}{57} = 15{\cdot}7°C.$$

(2) 50 গ্র্যাম জল $30°C$ উষ্ণতায় আছে। ইহার মধ্যে 27 গ্র্যাম বরফ $-10°C$ উষ্ণতায় ছাড়িয়া দেওয়া হইল। জল ও বরফ ভিন্ন কোন বস্তুর মধ্যে তাপের আদানপ্রদান না ঘটিয়া থাকিলে ঐ মিশ্রণের ফল কি হইবে ?

[**দ্রষ্টব্য :** আগের কষা অঙ্কে 7 গ্র্যাম বরফের পরিবর্তে এই অঙ্কে 27 গ্র্যাম বরফ আছে। কিন্তু ঠিক আগের 7 গ্র্যাম স্থলে 27 গ্র্যাম বসাইয়া আগের নিয়মে অঙ্ক কষিলে এই অঙ্ক শুদ্ধ হইবে না।

যথা—

$$27 \times \cdot5 \times 10 + 27 \times 80 + 27t = 1500 - 50t$$

$$77t = 1500 - 2295$$

$$t = -\frac{795}{77} = -10{\cdot}33°C.$$

ইহার অর্থ এই দাঁড়ায় যে $-10°C$ উষ্ণতার বরফের উপর $30°C$ উষ্ণতার অপেক্ষাকৃত গরম জল ঢালিলে বরফ 'গলিয়া' সমস্ত জলের উষ্ণতা আগের চেয়ে ও একটু কম হইবে। ইহা অসম্ভব। সুতরাং অঙ্ক ভুল হইয়াছে।

ভুল হওয়ার কারণ—এস্থলে আমরা ধরিয়া লইয়াছি যে সমস্ত বরফ গলিয়া যাইবে, কিন্তু এস্থলে বরফ বেশী হওয়ায় সমস্ত বরফ গলিবে না।

সুতরাং এই প্রকার যে কোন অঙ্ক এইভাবে কষিতে হয়—27 গ্র্যাম বরফ $-10°C$ উষ্ণতা হইতে $0°C$ উষ্ণতায় আসিতে তাপ গ্রহণ করিবে—

$27 \times \cdot5 \times 10$ ক্যালরি $= 135$ ক্যালরি। 27 গ্র্যাম বরফ $0°C$ উষ্ণতায় থাকিয়া গলিয়া জল হইতে তাপ লাগিবে $27 \times 80 = 2160$ ক্যালরি।

কিন্তু $30°C$ উষ্ণতার 50 গ্র্যাম গরম জল $0°C$ উষ্ণতায় নামিয়া আসিলেও $30 \times 50 = 1500$ ক্যালরির বেশী তাপ ছাড়িতে পারিবে না।

সুতরাং বরফ $0°C$ উষ্ণতায় আসিবার পর সমস্ত বরফ গলিবে না।

বরফকে 0°C উষ্ণতায় আনিতে 135 ক্যালরি তাপ প্রয়োজন। সুতরাং বরফ গলাইবার জন্য গরম জল হইতে যে তাপ অবশিষ্ট থাকিবে তাহার পরিমাণ 1500 − 135 = 1365 ক্যালরি। কিন্তু 0°C উষ্ণতার 27 গ্রাম বরফ গলিতে 2160 ক্যালরি তাপের প্রয়োজন।

∴ $\frac{1365}{2160} \times 27$ গ্রাম বরফ গলিবে

$= \frac{91}{144} \times 27$,, ,, ,,

$= 17\frac{1}{16}$,, ,, ,,

এবং $9\frac{15}{16}$ গ্রাম বরফ আর $(50 + 17\frac{1}{16}) = 67\frac{1}{16}$ গ্রাম জল 0°C উষ্ণতায় থাকিবে।]

(৩) যে প্রকার বস্তুর ভিতর দিয়া তাপের আদানপ্রদান হইতে পারে না এমন বস্তু দ্বারা নির্মিত একটি প্রকোষ্ঠে 0°C উষ্ণতার প্রচুর বরফ আছে। ইহার মধ্যে 100°C উষ্ণতার স্টীম কিছু সময় পাঠাইবার পর জল সংগ্রহ করিয়া 100 গ্রাম 0°C উষ্ণতার জল পাওয়া গেল। কত গ্রাম বরফ গলিয়াছে? (স্টীমের লীন তাপ 540 ক্যালরি প্রতি গ্রামে এবং বরফের লীন তাপ 80 ক্যালরি প্রতি গ্রামে।)

মনে কর, m গ্রাম স্টীম জমিয়া জল হইয়াছে। তাহা হইলে বরফ গলিয়াছে $(100 - m)$ গ্রাম।

প্রতি গ্রাম স্টীম জমিয়া 100°C উষ্ণতার জল হইতে 540 ক্যালরি তাপ বাহির হইয়াছে; আবার 100°C উষ্ণতার জল 0°C উষ্ণতায় আসিতে প্রতি গ্রামে 100 ক্যালরি তাপ হারাইয়াছে।

সুতরাং মোট বর্জিত তাপ

$= m \times 540 + m \times 1 \times 100$ ক্যালরি

$(100 - m)$ গ্রাম 0°C উষ্ণতার বরফ গলিয়া 0°C উষ্ণতার জল হইবার জন্য গৃহীত তাপ—

$= (100 - m) \times 80$ ক্যালরি

$\therefore \; m \times 640 = 8000 - 80m$

$720m = 8000$

$m = 11\frac{1}{9}$ গ্রাম

∴ বরফ গলিয়াছে $88\frac{8}{9}$ গ্রাম।

বরফ ক্যালরিমিটার (Ice Calorimeter):

ব্ল্যাকের ক্যালরিমিটার—এই বস্তুটি একটি স্থায়ী সরঞ্জাম নহে। বড় পুরু একখানা আয়তাকার বরফ খণ্ডের মধ্যে একটি গর্ত করিয়া লইতে হয়, এবং ঐ বরফ

খণ্ডের উপর ঐ গর্তকে ঢাকিয়া আরও একখানা বরফের খণ্ডকে রাখিয়া দিলেই ইহা ব্ল্যাকের বরফ ক্যালরিমিটার হইল।

ইহার সাহায্যে কোন বস্তুর আপেক্ষিক তাপ অথবা বরফের লীন তাপ নির্ণয় করা যায়।

প্রথমে ব্লটিং কাগজ দিয়া মুছিয়া ঐ গর্তের সকল জল শোষণ করিতে হইবে। ঐভাবে গর্তের জল শোষণ করিয়া উহাকে উপরের বরফ খণ্ড দ্বারা ঢাকিয়া রাখ।

ব্ল্যাকের বরফ ক্যালরিমিটার

যে জিনিসের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় করিতে হইবে তাহার একটি ছোট টুকরা ওজন করিয়া ওজন লিখিয়া রাখ এবং উহাকে যথা নিয়মে একটি স্টীম হীটারের মধ্যে রাখিয়া গরম কর। স্টীম হীটারের উষ্ণতা যখন আর না বাড়িয়া একই মাত্রায় স্থির থাকিবে তখন ঐ গরম বস্তু খণ্ড যথা সম্ভব তাড়াতাড়ি আনিয়া ক্যালরিমিটারের উপরের বরফ খণ্ড বা ঢাকুনি খুলিয়া বরফের গর্তে ফেলিতে হইবে এবং সঙ্গে সঙ্গে আবার উহা উপরের বরফ খণ্ড দ্বারা ঢাকিয়া দিতে হইবে।

মনে কর, বস্তু খণ্ডের ভর m_1. ঐ বস্তুটি যে তাপ বর্জন করিবে তাহাতে কিছু বরফ গালিয়া জল হইবে। গরম বস্তুটি বরফের গর্তে ফেলিবার কিছু সময় পরে ঐ গর্ত হইতে জল গড়াইয়া লইয়া ওজন করিলে যতটা বরফ গলিয়াছে তাহার ভর পাওয়া যাইবে। মনে কর ঐ ভর m_2.

যদি আপেক্ষিক তাপবিশিষ্ট m_1 ভরের বস্তু খণ্ড $t^\circ C$, অর্থাৎ স্টীম হীটারের শেষ স্থির উষ্ণতায় বরফের মধ্যে ফেলা হইয়া থাকে তবে উহা $0^\circ C$ পর্যন্ত ঠাণ্ডা হওয়ার ফলে যে তাপ বর্জন করিয়াছে তাহার মান $= m_1 st$ ক্যালরি।

m_2 ভরের বরফ গলিবার জন্য গৃহীত তাপ

$$= m_2 L$$

$$\therefore \quad m_2 L = m_1 st$$

অথবা $$s = \frac{m_2 L}{m_1 t}$$

কিংবা $$L = \frac{m_1 st}{m_2}$$

অর্থাৎ, এই পরীক্ষা দ্বারা L জানা থাকিলে s, এবং s জানা থাকিলে L নির্ণয় করা যাইবে।

8.15. গলনে আয়তনের পরিবর্তন (Change of Volume on melting) ঃ

যে বস্তু বিভিন্ন উষ্ণতায় কঠিন, তরল ও গ্যাসীয় এই তিন অবস্থায় থাকিতে পারে উহার এক নির্দিষ্ট ভর লইলে গ্যাসীয় অবস্থার আয়তন সর্বাপেক্ষা বেশী হয় ; কিন্তু তরল ও কঠিন অবস্থার আয়তনের মধ্যে অধিকাংশ বস্তুর তরল হইতে কঠিন অবস্থার আয়তন কম হইলেও কোন কোন বস্তুর তরল অপেক্ষা কঠিন অবস্থার আয়তন বেশীও হইয়া থাকে।

নির্দিষ্ট ভরের মোমের তরল অবস্থা হইতে কঠিন অবস্থার আযতন কম হইয়া থাকে—অর্থাৎ, উত্তপ্ত তরল মোম ঠাণ্ডায় জমিয়া কঠিন হইলে তরল অবস্থা অপেক্ষা কম স্থান দখল করে এবং মোম গলিয়া তরল হইলে আয়তনে বাড়ে। সুতরাং প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে কঠিন মোমেব ঘনত্ব তরল মোমের ঘনত্ব অপেক্ষা বেশী হয—অর্থাৎ, কঠিন মোম তরল মোম অপেক্ষা ভারী।

কিন্তু নির্দিষ্ট ভরের জল তরল অবস্থা হইতে কঠিন হইলে আযতনে বাড়ে—অর্থাৎ, জলকে ঠাণ্ডা করিযা বরফ করিলে উহাব আযতন জলের আয়তন অপেক্ষা বেশী হয় ; এবং বরফ গলিয়া যে জল হয় তাহার আযতন কম হয়।

সুতরাং প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে বরফের ঘনত্ব জলের ঘনত্ব অপেক্ষা কম হয—অর্থাৎ, বরফ, জলের তুলনায় হাল্‌কা। সেই কারণে কঠিন মোম তরল মোমের মধ্যে ডুবিয়া যায় কিন্তু বরফ জলের উপর ভাসে।

লোহা পিতল প্রভৃতি আরও কযেক প্রকার বস্তু এই ব্যাপারে জলের সমধর্মী—অর্থাৎ, উহাদেরও নির্দিষ্ট ভরের কঠিন বস্তু তরল হইলে আয়তনে কমিয়া যায়।

বরফ জলের উপরে ভাসে বলিয়া শীতপ্রধান দেশের হ্রদ, সমুদ্র প্রভৃতির জলের উপরের স্তরে বরফ থাকে, 4°C উষ্ণতার জল সকলের নীচে থাকে এবং বরফের আচ্ছাদনে আবৃত নীচের জল বেশী ঠাণ্ডা হইতে পারে না। সেই কারণে জলচর জীব প্রাণ ধারণ করিতে পারে।

কঠিন অবস্থায় লোহার আয়তন তরল অবস্থা অপেক্ষা বেশী হয় বলিয়া লোহার ঢালাই ছাঁচ খুব ভাল হয়, কারণ গলানো লোহা ছাঁচের ফাঁকে ঢুকিয়া ঠাণ্ডা হইলে আয়তনে বাড়িলে ছাঁচের ছাপ উহাতে খুব স্পষ্টভাবে পড়িতে পারে।

8.16. গলনাঙ্কের উপর চাপের প্রভাব (Effect of Pressure on melting point of a solid) ঃ

আগে বলা হইয়াছে যে চাপের পরিবর্তনে গলনাঙ্ক সামান্যই পরিবর্তিত হইয়া থাকে। কিন্তু এই সামান্য পরিবর্তনের ফলেও অনেক প্রাকৃতিক ব্যাপার ঘটে।

কিন্তু সকল বস্তুর গলনাঙ্কের উপর চাপ বৃদ্ধির ফল একপ্রকার নহে—কোন কোন ক্ষেত্রে চাপ বাড়াইলে গলনাঙ্ক বাড়ে আবার কোন কোন ক্ষেত্রে চাপ বাড়াইলে গলনাঙ্ক কমে।

কোন্ ক্ষেত্রে চাপ বৃদ্ধির ফলে গলনাঙ্ক কমিবে এবং কোন্ ক্ষেত্রে উহা বাড়িবে তাহা বুঝিতে হইলে দুইটি মূল কথা স্মরণ রাখা আবশ্যক।

(i) উষ্ণতা বাড়াইলে বস্তুর আয়তন বাড়ে, উষ্ণতা কমাইলে বস্তুর আয়তন কমে।

(ii) চাপ বাড়াইলে বস্তুর আয়তন কমে এবং চাপ কমাইলে বস্তুর আয়তন বাড়ে।

এখন যে কঠিন বস্তু গলিয়া তরল হইলে আয়তন বাড়ে উহার উপর চাপ বাড়াইলে চাপ আয়তন কমাইতে চেষ্টা করিবে। অর্থাৎ, এই ক্ষেত্রে উষ্ণতা বৃদ্ধি এবং চাপ বৃদ্ধি কঠিনের আয়তন পরিবর্তনে বিপরীত ক্রিয়া করিবে। সুতরাং সাধারণ চাপে কঠিন যে উষ্ণতায় গলে তাহার চেয়ে বেশী চাপে আরও বেশী উষ্ণতায় প্রয়োজনীয় আয়তন বৃদ্ধি ঘটিবে—অর্থাৎ, এই ক্ষেত্রে চাপ বৃদ্ধির ফলে গলনাঙ্ক বৃদ্ধি পাইবে।

আবার বরফ প্রভৃতি যে সকল বস্তুর আয়তন তরল অবস্থায় কমে, সেই সকল ক্ষেত্রে গলনাঙ্কের উষ্ণতা অপেক্ষা উষ্ণতা বাড়াইলে আয়তন কমিবে এবং চাপ বাড়াইলেও আয়তন কমিবে। সুতরাং চাপ বৃদ্ধি ও উষ্ণতা বৃদ্ধি, আয়তন পরিবর্তনে একই দিকে ক্রিয়া করিবে। ফলে চাপ বাড়াইলে কঠিনকে গলাইবার জন্য উষ্ণতা তত বাড়াইতে হইবে না। অর্থাৎ, চাপ বাড়াইলে এই ক্ষেত্রে গলনাঙ্ক কমিবে।

3.17. পুনঃ শিলীভবন (Regelation) :

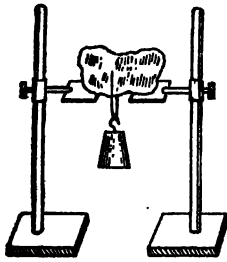
পরীক্ষা : বড় একখণ্ড বরফ আনিয়া পাশাপাশি দুইটি টুলের দুই প্রান্তের উপর বসাও, অথবা ক্ল্যাম্পের সহিত বড় রেটর্ট স্ট্যাণ্ড আটকাইয়া উহার উপর বরফখণ্ড রাখ। পরের পৃষ্ঠার চিত্র দেখ।

একটি তামার তার বরফের উপর দিয়া ফেলিয়া নীচের দিকে তারের দুই প্রান্ত হইতে একটি ভারী জিনিস ঝুলাইয়া দাও।

দেখা যাইবে ক্রমশ ঐ তার বরফকে কাটিয়া ভিতরে ঢুকিতেছে এবং ক্রমে তার বরফের মধ্য দিয়া চলিয়া নীচের দিকে বাহির হইয়া আসিবে কিন্তু বরফ দুই খণ্ডে বিভক্ত হইবে না।

ব্যাখ্যা : চাপ বৃদ্ধির ফলে বরফের গলনাঙ্ক কমিয়া যায় বলিয়াই এই ব্যাপার ঘটে। তামার তারের চাপে তামার ঠিক নীচের বরফের পাতলা স্তরের গলনাঙ্ক কমিয়া গেল, অর্থাৎ 0°C উষ্ণতার কম হইল (–·0072°C) কিন্তু ঐ বস্তুর উষ্ণতা 0°C, অর্থাৎ গলনাঙ্কের বেশী, সুতরাং উহা তরল অবস্থায় পরিণত হইল। ঐ তরল অর্থাৎ জল তখন তামার তারের উপরে চলিয়া গেল। কিন্তু ঐ জলের উপর তখন

আর বর্ধিত চাপ রহিল না সুতরাং জলের হিমাঙ্কে থাকিয়া উহা বরফে পরিণত হইল। এইভাবে পরপর তামার তারের নীচের বরফের পাতলা স্তরগুলি গলিয়া এবং উপরের জলের স্তরগুলি জমিয়া যাওয়ার ফলে ক্রমে তামার তার বরফের মধ্য দিয়া বাহির হইয়া যাইবে কিন্তু বরফ দুই খণ্ড হইবে না।

উপরের ব্যাখ্যা অসম্পূর্ণ। কারণ, তামার তারের চাপে বরফ জলে পরিণত হইলেও অবস্থার রূপান্তরের জন্য লীন তাপ জোগাইতে হইবে। লীন তাপ কোথা হইতে আসে তাহা না বলিলে ব্যাখ্যা সম্পূর্ণ হয় না।

তামার তার বরফ কাটিয়া বাহির হইবে কিন্তু বরফ দুই খণ্ডে বিভক্ত হইবে না

এক্ষেত্রে তামার তার হইতেই ঐ তাপের জোগান হইবে। আবার তামার তারের উপরে উঠিয়া জল যখন বরফে পরিণত হইবে তখন উহার লীন তাপ বর্জন করা আবশ্যক, ঐ তামার তারই তখন জল হইতে ঐ লীন তাপ গ্রহণ করিবে। তামা তাপের সুপরিবাহী বলিয়া সহজে এই ব্যাপার ঘটিতে পারে। কোন ধাতুর তার ব্যবহার না করিয়া সুতা ব্যবহার করিয়া বেশী ওজন ঝুলাইলে ঐ পরীক্ষা করিতে অনেক দেরী হইবে।

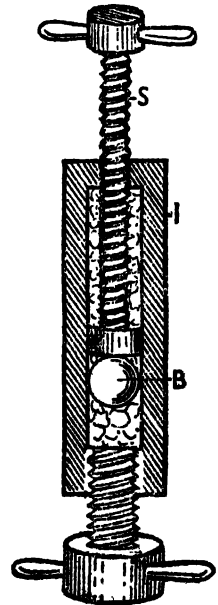
দুই খণ্ড বরফকে চাপ দিলে উভয়ের মিলন বিন্দুগুলিতে চাপ খুব বেশী পড়ে, সুতরাং বরফ গলে ; চাপ ছাড়িয়া দিলে আবার ঐ জল বরফে পরিণত হইয়া ঐ দুই খণ্ডকে জুড়িয়া দেয়। এক্ষেত্রে লীন তাপ বরফ হইতেই শোষিত হয় এবং পরে আবার বরফে ফিরিয়া আসে।

মৌসনের পরীক্ষা (Mousson's Experiment) :

পুনঃশিলীভবন সম্পর্কে মৌসন একটি উল্লেখযোগ্য পরীক্ষা করিয়াছেন।

একটি পুরু দেওয়াল যুক্ত লোহার নলের নীচের দিক একটি স্ক্রু দ্বারা আটকাইয়া রাখার ব্যবস্থা আছে এবং উপরের মুখে একটা স্ক্রুর সাহায্যে একটি ধাতুর তৈয়ারী পিস্টন নলের মধ্যে ঠেলিয়া দিবার ব্যবস্থা আছে।

মৌসনের পরীক্ষা

ঐ নল, স্ক্রু, পিস্টন এবং উহার মধ্যে কোনক্রমে যাতায়াত করিতে পারে ঐরূপ মাপের একটি লোহার বল প্রথমে বরফ দ্বারা আচ্ছন্ন করিয়া বহু সময় রাখিয়া দিতে হইবে।

যন্ত্র ঠাণ্ডা হইয়া বরফের উষ্ণতায় আসিবে। তখন উপরের পিস্টনটি নলে অল্প ঢুকাইয়া নীচের স্ক্রু খুলিয়া প্রথমে লোহার বলটি এবং পরে প্রচুর বরফ নলে ঢুকাইয়া নীচের স্ক্রু আটিয়া দিতে হইবে।

এখন উপরের স্ক্রু দ্বারা পিস্টন আঁটিতে থাকিলে বল আসিয়া নীচের স্ক্রুতে ঠেকিবে। তখন উপরের স্ক্রু ঘুরাইয়া পিস্টন উপরে তুলিয়া নীচের স্ক্রু খুলিয়া লইলে বলটি বাহিরে পড়িয়া যাইবে, কিন্তু তখনও নলের নীচের দিক বরফ দ্বারা বন্ধ আছে দেখা যাইবে।

3.17. হিমমিশ্রণ (Freezing mixture) ঃ

বরফের সহিত নুন মিশাইয়া উহার উষ্ণতা কমাইয়া প্রায় $-22^\circ C$-এ নামানো চলে। ইহাকেই সাধারণত হিমমিশ্রণ বলা হয়।

প্রকৃতপক্ষে আরও বহু প্রকার লবণের সহিত বরফ মিশাইয়া হিমমিশ্রণ প্রস্তুত করা যায় এবং ঐ সকল মিশ্রণের উষ্ণতা বিভিন্ন হয়। বরফের সহিত এমোনিয়াম ক্লোরাইড লবণ মিশাইলে উষ্ণতা $-17.4^\circ C$ হয়, ক্যালসিয়াম ক্লোরাইড মিশাইলে উষ্ণতা $-55^\circ C$ হয়।

কঠিন পদার্থ রাসায়নিকভাবে মিলিত না হইয়া কোন তরলে দ্রবীভূত হইয়া গেলে উহার মধ্যে একপ্রকার পরিবর্তন ঘটে, সুতরাং ইহার জন্য শক্তি প্রয়োজন। ঐ শক্তি দ্রবণ-তাপ বা heat of solution হিসাবে তরল পদার্থ হইতেই শোষিত হয়। তাই তরল ঠাণ্ডা হইয়া যায়। সকল পদার্থের দ্রবণ-তাপ সমান নহে, সেই কারণে সকল বস্তু জলে গলিলে উষ্ণতার হ্রাস সমান হয় না। সাধারণ লবণ বা নুন জলে গলিলে উষ্ণতা যত কমে, এমোনিয়াম ক্লোরাইড জলে গলিলে উষ্ণতা তাহা অপেক্ষা অনেক বেশী কমিয়া থাকে।

সাধারণ উষ্ণতায় বরফের বাহিরের গাত্রে জল থাকে। ইহার উপর নুন ছিটাইয়া দিলে নুন ঐ জলে গলিয়া যায়। নুনের দ্রবণ-তাপ জল হইতে আসে বলিয়া ঐ জল ঠাণ্ডা হয়, কিন্তু লবণ-জলের হিমাঙ্ক $0^\circ C$ উষ্ণতার নীচে বলিয়া নুনের দ্রবণ ঠাণ্ডা হইয়াও বরফ হয় না। এই ঠাণ্ডা জলের সংস্পর্শে থাকায় বরফ তাপ ত্যাগ করিয়া ঠাণ্ডা হয়, বরফের পরিত্যক্ত তাপ আরও কিছু লবণ গলাইবার দ্রবণ-তাপ জোগায় তাই বরফ আরও ঠাণ্ডা হয়। এইভাবে প্রত্যেক হিমমিশ্রণ এক নির্দিষ্ট শেষ উষ্ণতায় পৌঁছে।

প্রশ্ন

1. কঠিন বস্তুর গলনাঙ্ক বলিলে কি বুঝায়? কঠিন বস্তু তাপে গলিবার সময় ইহার উষ্ণতার পরিবর্তন হয় না কেন?

(What is meant by the melting point of a solid ? Why is there no change in the temperature of a solid while it melts ?)

2. লীন তাপের সংজ্ঞা বল। 'বরফের লীন তাপ প্রতি গ্রামে 80 ক্যালরি' 'স্টীমের লীন তাপ প্রতি গ্রামে 537 ক্যালরি', এই দুই উক্তির সম্পূর্ণ অর্থ লিখ।

(Define latent heat. Explain fully the meaning of the following statements (i) the latent heat of ice is 80 cal./gm. (ii) the latent heat of steam is 537 cal./gm.)

3. −15°C উষ্ণতায় 17 গ্রাম বরফ আছে। উহাকে তাপ দিয়া 100°C উষ্ণতায় স্টীমে পরিণত করিতে কত তাপ লাগিবে?

(There are 17 grams of ice at −15°C What is the amount of heat necessary to convert it into steam at 100°C ?) [*Ans*. 12316·5 cal.]

4. একটি তামার ক্যালরিমিটারের ওজন 92 গ্রাম। তামার আপেক্ষিক তাপ ·1 ক্যালরি/গ্রাম/°C। ঐ ক্যালরিমিটারে 50 গ্রাম জল আছে, ঐ জলের উষ্ণতা 70°C. ঐ সময়ে উহার মধ্যে 0°C উষ্ণতার 2 গ্রাম বরফ ফেলিয়া দেওয়া হইল। মিশ্রণের শেষ উষ্ণতা কত হইবে?

(A copper calorimeter weighs 92 grams. It contains 50 grams of water at 70°C. If 2 grams of ice at 0°C is dropped into it, find the final temperature of the mixture given, sp. heat of copper = ·1 cal./gram/°C.)

5. 0°C উষ্ণতায় প্রচুর বরফ পাওয়া গেলেও ঐ বরফের সাহায্যে এক ফোঁটা জলকে বরফ করা যায় না কেন?

(Why cannot a drop of water be converted into ice even if enough ice is available at 0°C ?)

6. বরফের লীন তাপ নির্ণয়ের প্রণালী বর্ণনা কর।

100 গ্রাম জল 50°C উষ্ণতায় আছে। উহার মধ্যে 0°C উষ্ণতার 50 গ্রাম বরফ ফেলিয়া দেওয়া হইল। ইহার ফল কি হইবে?

(Describe a method of determination of latent heat of ice.

50 grams of ice at 0°C are mixed with 100 grams of water at 50°C. Find the resulting temperature.) [*Ans*. water at 6·66°C]

7. স্টীমের লীন তাপ নির্ণয় করিবার প্রণালী বর্ণনা কর।

0°C উষ্ণতার বরফের মধ্যে একটি গর্ত করিয়া উহাতে 100°C উষ্ণতার স্টীম পাঠাইয়া কিছু সময় পরে 0°C উষ্ণতায় 75 গ্রাম জল পাওয়া গেল। কতটা বরফ গলিয়াছিল?

(Describe a method of determining the latent heat of steam.

In a block of ice at 0°C, a hole was made and steam at 100°C passed into it for some time, after which 75 grams of water at 0°C were collected from it. How much ice did melt ? Take latent heat of steam at 100°C to be 540 cal. per gram.) [*Ans* $66\frac{2}{3}$ gm.]

Additional Numerical Problems

1. 280·7 grams of iron are heated to 100°C and put in a large block of ice at 0°C. How much ice will be melted?
(Sp. heat of iron = ·12) [*Ans.* 42·105 grams]

2. A block of ice of mass 200 grams is at −20°C. If the lump of iron of mass of 280·7 grams at 100°C be placed in this ice, what amount of ice will now be melted? (Sp. heat of ice = ·5) [*Ans.* 17·105 gm.]

3. An alloy of two metals of mass 100 grams is heated in a steam heater where it attains a temperature of 100°C. It is then quickly dropped into a cavity in a block of ice at 0°C and covered by another block. If 8·8125 gm. of ice melted, find the thermal capacity of the alloy. If the 1st and second metals have sp. heats = ·12 and ·03 respectively, find the masses of the metals in the alloy.
[*Ans.* 7·05 cal. ; 45 gms. and 55 gms.]

4. A calorimeter of copper whose sp. heat is ·1 weigh 73·58 grams and contains 175 grams of water at 90°C. A piece of ice weighing 28·3 grams is dropped into it. Find the final temperature.
[*Ans.* 67·17°C]

5. Find the mass of ice at 0°C that can be melted by cooling a calorimeter of copper which weighs 30 grams and contains 177 grams of water at 70°C to 0°C. [*Ans.* 157·5 gms.]

6. What is the amount of heat necessary to boil away 25 grams of water at 100°C to steam at 100°C? Latent heat of steam = 537 cal. per gram. [*Ans.* 13425 cal.]

7. What is the amount of heat necessary to convert 10·28 grams of ice initially at −12°C to steam at 100°C? Latent heat of ice = 80 cal./gm.; of steam 537 cal. per gram and sp. heat of ice = ·5.
[*Ans.* 7432·44 cal.]

8. A calorimeter of water equivalent 2 grams contains 100 grams of water and 20 grams of ice at 0°C. Steam at 100°C is passed into it till all ice melts and the temperature rises to 50°C. Find the mass of steam condensed. [*Ans.* 13·1175 gm.]

9. Lead melts at thetemperature of 335°C. How much heat will be necessary to melt 28 grams of lead originally at a temperature of 25°C, given sp. heat of lead = ·03. Latent heat of fusion 535 cal. per gram. [*Ans.* 410·2 cal.]

10. 50 lbs. of ice were left in a vessel of water equivalent 2 lbs. on a hot April day and after some time it was found that all ice melted and attained the room temperature of 105°F. Calculate in B. Th. U. the amount of heat absorbed. Latent heat of ice = 80 cal per gram.

[*Ans.* 10996 B. Th. U.]

[*Hints :* Latent heat of ice 80 cal./gram = 144 B. Th. U. per lb.]

Public Examination Questions

1. Explain the meaning of latent heat of fusion of a substance.

Describe how you would determine the melting point of paraffin.

What is the result of mixing 8 lbs. of copper at 100°C, with 2 lbs. of ice at 0°C ? [Specific heat of copper = 0·8, latent heat of fusion of ice = 80 cal./gm.] [H. S. 1961]

[*Ans.* water and copper at $57\frac{1}{7}$°C]

2. Distinguish between sensible heat and latent heat.

State in general terms, the effect of application of heat to ice, say, at − 8°C until the temperature of 50°C is reached.

Calculate the amount of heat supplied in the above case, if the mass of ice be 10 gms. (Specific heat of ice = 0·5, latent heat of fusion of ice = 80 cal./gm.) [*Ans.* 1340 cal.] [H. S. Comp. 1961]

3. Define melting point, specific heat and latent heat of fusion of a solid.

How many units of heat are required to melt 100 grams of tin originally at 20°C ? (Melting point of tin = 232°C. latent heat of fusion of tin is 14 cal. ; sp. heat of tin = ·055) [*Ans.* 2566 cal.]

Does the value of these constants depend on the kind of thermometers used ? Fahrenheit or Centigrade ? Explain your answer.

[C. U. I. Sc. 1944]

দ্বিতীয় পাঠ

3.2. বাষ্পায়ন (Vaporisation) ঃ

তরল পদার্থ মাত্রই দুই উপায়ে গ্যাসীয় অবস্থায় পরিণত হইয়া থাকে ; ঐ দুই উপায়কে যথাক্রমে **বাষ্পীভবন (evaporation)** এবং **স্ফুটন (boiling)** বলে।

স্ফুটন ও স্ফুটনাঙ্ক সম্পর্কে আগেই উল্লেখ করা হইয়াছে। এক নির্দিষ্ট চাপে যে উষ্ণতায় কোন তরল পদার্থ টগবগ করিয়া ফুটিতে থাকে সেই উষ্ণতাকে ঐ বস্তুর স্ফুটনাঙ্ক বলে। স্ফুটনের সময় তরল দ্রুত গ্যাসীয় অবস্থায় রূপান্তরিত হয়।

সকল উষ্ণতায় সকল চাপেই বাষ্পীভবন ঘটিতে থাকে। বর্ষার দিন ছাড়া অন্য কোন দিনে একখানা বড় থালায় এক শিশি জল ঢালিয়া রাখিয়া শিশিটিও আবার জলপূর্ণ করিয়া মুখ খোলা অবস্থায় থালার পাশে রাখিয়া দিলে, পর দিন দেখা যাইবে থালায় একটুও জল নাই, কিন্তু শিশির জল অতি সামান্যই কমিয়াছে। থালার জল তরল অবস্থা হইতে বায়বীয় অবস্থায় রূপান্তরিত হইয়া—অর্থাৎ, বাষ্প হইয়া বায়ুর সহিত মিশিয়া গিয়াছে; শিশির জল যতটুকু কমিয়াছে তাহাও বাষ্প হইয়াই বায়ুর সাথে মিশিয়াছে।

এইভাবে আপনা হইতে তরল বস্তু ধীরে ধীরে সকল সময়েই অল্পবিস্তর বায়বীয় হইয়া থাকে; এই প্রক্রিয়াকে বাষ্পীভবন বলে।

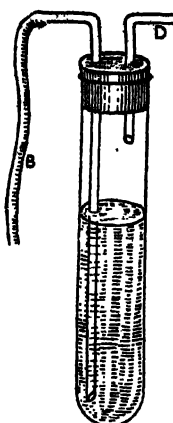
কোন ভিজা জিনিস যেমন ভিজা মেঝে, ভিজা কাপড়-চোপড় বা ভিজা মাটি প্রভৃতি হইতে জল এই উপায়ে ক্রমাগত বাষ্প হইয়া বায়ুতে মিশে, আর সমুদ্র, নদী, হ্রদ ও অন্যান্য জলাশয় প্রভৃতি হইতেও এইভাবে জল বাষ্প হইয়া বায়ুতে মিশিতেছে।

বাষ্পায়ন যেরূপেই হউক, অবস্থার পরিবর্তনের জন্য লীন তাপ আবশ্যক।

কয়লার উনান, বৈদ্যুতিক উনান, স্পিরিটবাতি প্রভৃতি দ্বারা জল বা অন্য তরল ফুটাইলে স্ফুটনের সময়ে ঐ লীন তাপ ঐ সকল উৎস হইতে আসে কিন্তু বাষ্পীভবনের সময়ে লীন তাপ ঐ তরল বস্তু হইতেই গৃহীত হয়; ফলে ঐ তরল বস্তু ঠাণ্ডা হয়, তখন বাহিরের বায়ু হইতে তাপ ঐ তরল বস্তুতে যায়। যদি বাষ্পীভবনের হার খুব বেশী দ্রুত না হয় তবে বায়ু হইতে যে তাপ সরবরাহ হয় তাহার ফলে তরলের উষ্ণতা বেশী কমিবে না, কিন্তু বাষ্পীভবনের হার বেশী দ্রুত হইলে তরলের উষ্ণতা কমিতে থাকিবে। দৈনন্দিন জীবনে এই নীতির বহু ব্যবহারিক প্রয়োগের পরিচয় পাওয়া যায়।

(i) কুঁজোর বা মাটির কলসীর জল নিকটস্থ পিতলের কলসীর জল অপেক্ষা ঠাণ্ডা হয়। কারণ, কুঁজোর অসংখ্য ছিদ্র দিয়া জলকণা বাহিরে আসে এবং বাষ্পীভবনে বায়বীয় হইয়া যায়। প্রয়োজনীয় লীন তাপ কুঁজোর জল হইতেই সরবরাহ হয় বলিয়া ঐ জল ঠাণ্ডা হয়; পিতলের কলসীর গায়ে ঐরূপ ছিদ্র না থাকায় জল ঐভাবে দ্রুত বাষ্প হইতে পারে না।

(ii) হাতে ইথার বা স্পিরিট ঢালিয়া দিলে তরল দ্রুত বাষ্প হইয়া উড়িয়া যায়। প্রয়োজনীয় লীন তাপ হাত হইতেই সরবরাহ হয় বলিয়া হাত ঠাণ্ডা বোধ হয়। আমাদের ঠাণ্ডা ও গরমের অনুভূতি নির্ভর করে আমাদের যথাক্রমে তাপ বর্জন ও তাপ গ্রহণের হারের উপর। আমরা যত দ্রুত তাপ হারাই তত বেশী ঠাণ্ডা অনুভব করি। স্পিরিট প্রভৃতি উদ্বায়ী (Volatile) বস্তু সাধারণ উষ্ণতায় দ্রুত বাষ্পে পরিণত হয়। সেইজন্য হাতে স্পিরিট ঢালিলে আমাদের হাতে বেশ ঠাণ্ডা লাগে।

(iii) স্নান করিবার পর অথবা ঘর্মাক্ত হইয়া পাখার নীচে বসিলে বেশ ঠাণ্ডা লাগে। তাহার কারণ বায়ুপ্রবাহ থাকিলে খোলা স্থানের জল দ্রুত বষ্প হয়, এবং গায়ের জল দ্রুত বাষ্প হইলে আমরা বেশী হারে তাপ হারাই।

ইথারের দ্রুত বাষ্পীভবনে ফলে বরফ জমানো যায়—ইহা দেখাইবার ব্যবস্থা

(iv) একটি পরখনলে ইথার আছে এবং হাপরের সহিত যুক্ত একটি নল উহাতে ডুবানো আছে; পরখনলে আর একটি নির্গমনল আছে। হাপরের সাহায্যে ইথারের মধ্যে বায়ু চালাইলে ইথার দ্রুত বায়বীয় হইয়া উড়িয়া যায়; ফলে বায়ুস্থ জলীয় বাষ্প পরখনলের গায়ে জমিয়া যায়। আরও কিছু সময় ঐভাবে হাপর দ্বারা ঐ ইথারে বায়ু চালাইলে বাহিরের জলবিন্দুগুলি জমিয়া বরফ হইয়া যায়। একখানা কাঠের উপর অল্প গভীর ছোট গর্ত করিয়া উহাতে জল রাখ। ঐ জলের উপর ঐ পরখনলটি বসাইয়া হাপর চালাইলে জল বরফ হইয়া যাইবে।

মূলত এই নীতির উপর নির্ভর করিয়া তরল এ্যামোনিয়া গ্যাসকে বায়বীয় করিবার ব্যবস্থা করিয়া বরফ-কলে জলকে বরফ করা হয়।

৪.21. বাষ্পীভবন এবং স্ফুটনের মধ্যে পার্থক্য (Distinction between evaporation and boiling) ঃ

বাষ্পীভবন ও স্ফুটনের পার্থক্য সম্যক উপলব্ধি করিতে হইলে ঐ দুই প্রক্রিয়ার বিভিন্ন ধাপগুলি বুঝিতে চেষ্টা করা প্রয়োজন।

তরল পদার্থের অণুগুলি যথেষ্ট চঞ্চল। উহাদের মধ্যে কোন কোনটি দ্রুতবেগে চলিয়া উপরিতল হইতে বেগে বাহিরে চলিয়া আসে। কোন অণুর পক্ষে এইভাবে বাহিরে চলিয়া আসিবার জন্য নিকটস্থ অণুগুলির আকর্ষণ এড়াইবার শক্তি প্রয়োজন, ঐ শক্তি তরল হইতেই তাপরূপে শোষিত হয়।

যদি তরল আবদ্ধ পাত্রে থাকে, তবে এইভাবে কিছু অণু উপরে উঠিয়া গেলে এক সাম্য অবস্থার সৃষ্টি হয়—তখন যে কোন অল্প সময়ের মধ্যে যতগুলি অণু উপরে উঠিয়া যায় ঠিক ততগুলি অণু তরলের মধ্যে আসিয়া প্রবেশ করিতে থাকে এবং বাষ্পায়ন ঐ উষ্ণতায় বন্ধ থাকে; কিন্তু পাত্র খোলা থাকিলে উপরের ঐ অণু অন্যত্র চলিয়া যায় এবং বাষ্পীভবন চলিতে থাকে। যদি পাত্রের মুখ খোলা থাকে এবং বায়ুপ্রবাহ থাকে তবে উপরের অণুগুলি দ্রুত স্থানান্তরিত হয় এবং তরলের উপরিতল হইতে দ্রুত বাষ্প উঠিতে থাকে।

এখন যদি তরলকে গরম করিতে আরম্ভ করা হয় তবে আগের তুলনায় প্রতি সেকেণ্ডে আরও বহু অণু জলের উপরিতল হইতে উপরে উঠিয়া যাইবার শক্তি পাইবে, সুতরাং বাষ্পীভবন দ্রুততর হইবে। কিন্তু একটানা যথেষ্ট তাপ দিতে থাকিলে শীঘ্রই এমন অবস্থা ঘটিবে যে, কোন এক সময়ে যতগুলি অণু উপরে উঠিবার শক্তি অর্জন করিয়াছে, অর্থাৎ বায়বীয় হইয়াছে, তাহাদের সংখ্যা এত বেশী যে তরলের উপরিতল হইতে উঠিবার আর স্থান থাকিবে না। সুতরাং ঐ শক্তিসম্পন্ন বা বায়বীয় অণু বাহির হইবার পথ না পাইয়া তরল পদার্থের মধ্যে যে স্থানে উহারা উৎপন্ন হইবে সেই স্থানেই তরল পদার্থকে ঠেলিয়া একটি বুদ্‌বুদ্‌ প্রস্তুত করিবে। তখন নিকটস্থ ঐ প্রকার অন্যান্য অণু বুদ্‌বুদের গাত্র ভেদ করিয়া আসিয়া বুদ্‌বুদের মধ্যেই জমিতে আরম্ভ করিবে। ফলে বুদ্‌বুদের মধ্যেস্থ বাষ্পের চাপ বৃদ্ধি পাইবে এবং ঐ বুদ্‌বুদ্‌ উপরে উঠিয়া আয়তনে বড় হইয়া ফাটিয়া যাইবে এবং বায়বীয় পদার্থ বা বাষ্প বাহিরে ছড়াইয়া যাইবে। যদি এইভাবে দ্রুত সকল স্থান হইতে একই সঙ্গে বুদ্‌বুদ্‌ উঠিতে থাকে এবং তরল পদার্থের উষ্ণতা আর না বাড়ে তখন আমরা বলি স্ফুটন আরম্ভ হইয়াছে।

ঐ অবস্থায় উপরের চাপ বাড়াইয়া দিলে ঐ বুদ্‌বুদ্‌গুলি উপরে উঠিয়া ফাটিতে পারিবে না, সুতরাং স্ফুটন বন্ধ হইবে; উষ্ণতা বাড়াইলে আবার বুদ্‌বুদের মধ্যে বাষ্পের চাপ বাড়িয়া বুদ্‌বুদ্‌গুলি আবার উপরে উঠিয়া ফাটিতে সমর্থ হইবে। ঠিক বিপরীত কারণে চাপ কমাইলে আরও কম উষ্ণতায় স্ফুটন সম্ভবপর হইবে।

এক্ষণে বাষ্পায়নের এই দুই প্রক্রিয়ার বৈশিষ্ট্যগুলি স্পষ্ট বুঝা যাইবে।

বাষ্পীভবন (i) যে কোন চাপে, যে কোন উষ্ণতায় এই প্রক্রিয়ায় তরল বস্তু বাষ্পে পরিণত হয়।

(ii) তরলের উপরিতল যত বেশী বিস্তৃত হইবে একই উষ্ণতায় বাষ্পীভন তত দ্রুত হইবে। তরলের বহিরাবরণের তল (outer surface of the liquid) ভিন্ন তরলের অভ্যন্তর হইতে বাষ্পীভবন হয় না।

(iii) উষ্ণতা বাড়াইলে বাষ্পীভবন দ্রুত হইবে।

(iv) বায়ুপ্রবাহ থাকিলে বাষ্পীভবন দ্রুত হয়।

(v) সাধারণত বাষ্পীভবন একটি ধীর প্রক্রিয়া।

স্ফুটন (i) এক নির্দিষ্ট চাপে এক নির্দিষ্ট উষ্ণতায় এক একটি তরল পদার্থ ফুটিতে আরম্ভ করে।

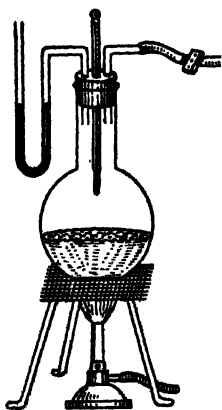
(ii) তরল পদার্থের সকল স্থান হইতে ঐ পদার্থ বাষ্প হইতে থাকে।

(iii) তরলের উপরে যে চাপ প্রযুক্ত হয় তাহার উপর তরলের স্ফুটনাঙ্ক নির্ভর করে—চাপ কমাইলে স্ফুটনাঙ্ক কমে, চাপ বাড়াইলে স্ফুটনাঙ্ক বাড়ে। চাপ ঠিক থাকিলে এবং স্ফুটন দ্রুততর করিতে হইলে অধিক হারে তাপ দিতে হইবে।

(vi) এই প্রক্রিয়ায় তরল দ্রুত বাষ্প হয়।

জলের উপরিতলে চাপ এক এট্‌মস্ফিয়ার অপেক্ষা বেশী হইলে জলের স্ফুটনাঙ্ক 100°C অপেক্ষা বেশী হয়, চাপ কম হইলে জলের স্ফুটনাঙ্ক 100°C অপেক্ষা কম হয় এবং এক এট্‌মস্ফিয়ার হইলে স্ফুটনাঙ্ক 100°C হয়।

প্রথম পরীক্ষা: একটি বড় ফ্লাস্ক-এর মধ্যে জল লও। একটি উপযুক্ত মাপের কর্ক-এর মধ্যে তিনটি ছিদ্র করিয়া ফ্লাস্কের মুখ বন্ধ কর। একটির মধ্য দিয়া একটি থার্মমিটার, দ্বিতীয়টির মধ্য দিয়া একটি ম্যানোমিটার (অর্থাৎ, পারদপূর্ণ U-নল) এবং তৃতীয়টির মধ্য দিয়া একটি নির্গম নল প্রবেশ করাও। নির্গম নলের সহিত একটি রবারের নল লাগাইয়া উহাতে একটি পিঞ্চকক বসাইয়া রাখ।

এখন ফ্লাস্ক গরম করিয়া জল ফুটাইতে থাক। যখন নির্গম নল হইতে প্রচুর স্টীম দ্রুত নির্গত হইতে থাকিবে তখন থার্মমিটারে উষ্ণতা পড়িয়া রাখ। লক্ষ্য কর জল তখন টগবগ করিয়া ফুটিতে থাকিবে। ব্যারোমিটারের পারদস্তম্ভ 76 সে. মি. হইলে থার্মমিটারে 100°C উষ্ণতা সূচিত হইবে।

চাপ বাড়িলে জল 100°C উষ্ণতার বেশী উষ্ণতায় ফুটিবে

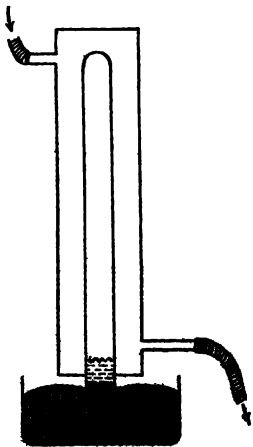
এখন পিঞ্চককটি চাপিয়া দিয়া পাত্র হইতে স্টীমের বহির্গমন বন্ধ কর। দেখিবে জল আর টগবগ করিতেছে না। দেখা যাইবে ম্যানোমিটারের U-নলের যে প্রান্ত ফ্লাস্কের সহিত যুক্ত সেই দিকের নলে পারদ নামিয়া গিয়াছে এবং খোলা নলের মধ্যে পারদ ঠেলিয়া উঠিতেছে। ইহাতে বুঝা যায় যে ফ্লাস্কের মধ্যের চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপ অপেক্ষা বেশী হইয়াছে। থার্মমিটারে উষ্ণতা লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে যে উষ্ণতা একটুও হ্রাস হয় নাই। ইহাতে প্রমাণ হয় যে চাপ বাড়িলে স্ফুটনাঙ্ক বাড়িয়া যায়, কারণ আগের উষ্ণতায় এখন আর স্ফুটন হয় না। থার্মমিটার দেখার পর যথাসম্ভব সত্বর ফ্লাস্কের নীচ হইতে বাতি সরাইয়া লও।

দ্বিতীয় পরীক্ষা—(Franklin's experiment): ঐ ফ্লাস্কের ছিপি খুলিয়া ফ্লাস্কের জল ফুটাইতে থাক। একটানা 8-10 মিনিট জল ফুটাইয়া একটি রবারের ছিপি দ্বারা ফ্লাস্কের মুখ বন্ধ করিয়া দাও এবং ফ্লাস্কের নীচে হইতে বাতি সরাইয়া লও।

ক্ল্যাম্পের সাহায্যে একটি রেটর্ট স্ট্যাণ্ড ঠিক করিয়া লইয়া উহার উপর ফ্লাস্কটি উল্টাইয়া বসাও। এখন ফ্লাস্কের উপরে ঠাণ্ডা জল ঢালিলে ফ্লাস্কের মধ্যস্থ জল আবার ফুটিতে আরম্ভ করিবে। যখন ফ্লাস্ক এত ঠাণ্ডা হইবে যে ফ্লাস্কের যে-কোন স্থানে হাত লাগাইয়া রাখা যায়, তখনও যদি উপরে বেশী ঠাণ্ডা জল ঢালা যায় তবে দেখা যাইবে যে ভিতরের জল টগবগ করিয়া ফুটিতে থাকিবে।

চাপ কমিলে 100°C অপেক্ষা অনেক কম উষ্ণতায় জল ফুটিতে থাকে

ফ্লাস্কে ছিপি আঁটিবার পূর্বে ফ্লাস্কের মধ্যে স্টীম উৎপন্ন হইয়া ফ্লাস্ক হইতে বায়ুকে ঠেলিয়া বাহির করিয়াছে। সুতরাং ফ্লাস্ক বন্ধ করিবার পর ফ্লাস্কের মধ্যে বায়ু প্রায় ছিল না বলিলেও চলে, শুধু জলের উপরে প্রচুর জলীয় বাষ্প ছিল।

ফ্লাস্ক উল্টাইয়া বসাইলে জলের উপরে জলীয় বাষ্প থাকিবে। বাহিরে ঠাণ্ডা জল ঢালিলে বাহিরের ঠাণ্ডায় ঐ জলীয় বাষ্পের অধিকাংশ জমিয়া জল হইয়া যাইবে, তখন জলের উপর চাপ খুবই কমিয়া যাইবে। ঐ সময়ে জলের যে উষ্ণতা থাকিবে সেই উষ্ণতায় ঐ চাপে জল ফুটিতে আরম্ভ করিবে।

জল ফুটিবার সময় বাষ্পের চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান হয়

পাম্পের সাহায্যে ফ্লাস্কের বায়ু নিষ্কাশন করিয়া ঘরের উষ্ণতায় জলকে ফুটানো যায়। খোলা পাত্রে জল ফুটাইলে জলের উপরে বায়ুমণ্ডলের চাপ ক্রিয়া করিবে; সুতরাং জলীয় বাষ্পের চাপ ঐ চাপের সমান হইলেই বুদ্‌বুদ্ উপরে উঠিয়া ফাটিতে পারিবে—অর্থাৎ, জল ফুটিতে পারিবে। সুতরাং বায়ুমণ্ডলের উষ্ণতায়ই জল ফুটিবে।

তৃতীয় পরীক্ষা : একটি ব্যারোমিটার প্রস্তুত করিয়া একটি বাঁকানো পিপেটের সাহায্যে ব্যারোমিটারের মধ্যে অল্প একটু জল প্রবেশ করাও। জল হাল্‌কা বলিয়া উহা ব্যারোমিটার-নলের পারদ-স্তম্ভের একেবারে উপরে উঠিয়া যাইবে। উপরে চাপ না থাকায় জল উপরে উঠা মাত্রই কিছু জল বাষ্প হইয়া যাইবে। ঐ বাষ্পের চাপে পারদ একটু নীচে নামিয়া আসিবে। ঐ

ব্যারোমিটার-নলকে একটি স্টীম জ্যাকেটের মধ্যে রাখিয়া স্টীম পাঠাইতে থাকিলে দেখা যাইবে যে, পারদ-স্তম্ভ ক্রমেই নামিয়া আসিতেছে। ইহার কারণ, উষ্ণতা বাড়িবার ফলে নলের মধ্যস্থ জলীয় বাষ্পের চাপ বাড়িবে এবং ঐ চাপে পারদ নামিয়া আসিবে। বেশী সময় স্টীম পাঠাইলে দেখা যাইবে যে, নলের মধ্যস্থ পারদ নামিয়া একেবারে বাহিরের পাত্রের পারদের লেভেলের সমান হইবে এবং তখন নলের মধ্যস্থ জল ফুটিতে আরম্ভ করিবে। অর্থাৎ, জল ফুটিবার সময় নলের মধ্যে জলীয় বাষ্পের যে চাপ পড়িতেছে তাহা বাহিরের বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান।

উচ্চতার সহিত জলের স্ফুটনাঙ্কের সম্পর্ক ঃ

পাহাড়ের উপরে উঠিলে বায়ুমণ্ডলের চাপ কমিয়া যায়; সুতরাং জল অপেক্ষাকৃত কম উষ্ণতায় ফুটিতে আরম্ভ করে। কোন কোন ক্ষেত্রে ইহাতে রান্না করা অসুবিধা-জনক হইয়া থাকে। পাহাড় বেশী উঁচু হইলে চাপ খুব কমিয়া যাইবে এবং জল 4/5 ডিগ্রি কম উষ্ণতায় ফুটিতে আরম্ভ করিবে। সেই কারণে ডাল প্রভৃতি ঐ উষ্ণতায় ভালভাবে সিদ্ধ হইবে না। লবণ দিলে জলের স্ফুটনাঙ্ক বাড়ে, সুতরাং ঐ সকল ক্ষেত্রে ডালে আগেই নুন দিয়া ডাল সিদ্ধ করা হয়।

চাপ যেখানে কম সেই সকল স্থানে অধিক চাপে রাখিয়া মাংস প্রভৃতি রান্না করিবার যন্ত্র বা **পেপিন ডাইজেষ্টার (pressure cooker)** নামক যন্ত্র ব্যবহৃত হয়। মাংস বেশী সিদ্ধ করিবার জন্য সকল স্থানেই ঐ যন্ত্র ব্যবহার করা চলে।

3.21. (a) বাষ্পীভবন এবং স্ফুটনের নিয়ন্ত্রক কারণ-সমূহ (Factors governing evaporation and boiling) ঃ

পূর্বোক্ত আলোচনা হইতে কি কি কারণের দ্বারা বাষ্পীভবন এবং স্ফুটন নিয়ন্ত্রিত হয় তাহা বুঝা গিয়াছে। ঐ কারণগুলি এখন সংক্ষেপে পর পর উল্লিখিত হইল।

(a) বাষ্পীভবন নিয়ন্ত্রক কারণসমূহ ঃ

(i) বায়ুমণ্ডলের উষ্ণতা স্থির থাকিয়া চাপ বৃদ্ধি পাইলে বাষ্পীভবনের হার কমে, চাপ কমিলে বাষ্পীভবনের হার বাড়ে।

(ii) বায়ুমণ্ডলের চাপ ঠিক থাকিয়া উষ্ণতা বাড়িলে বাষ্পীভবনের হার বাড়ে, উষ্ণতা কমিলে ঐ হার কমে।

(iii) উষ্ণতা এবং চাপ অপরিবর্তিত থাকিলে তরলের উপরিতল যত বিস্তৃত হইবে বাষ্পীভবনের হার তত বেশী হইবে, তরলের উপরিতলের বিস্তৃতি কম হইলে বাষ্পীভবনের হার কম হইবে।

(*iv*) তরলের উপরে ঐ তরলের বাষ্পের প্রভাব—তরলের বাষ্প দ্রুত অপসারিত করিলে বাষ্পীভবন দ্রুততর হয়। (গরম চা বা গরম দুধের উপর ফুঁ দিলে বা পাখা করিলে ঐ তরল দ্রুত বাষ্পীভবনের ফলে তাড়াতাড়ি ঠাণ্ডা হয়।)

(*v*) অন্যান্য অবস্থা একপ্রকার হইলে যে তরলের স্ফুটনাঙ্ক যত কম সেই তরল তত তাড়াতাড়ি বাষ্প হইয়া থাকে।

(b) স্ফুটন নিয়ন্ত্রক কারণসমূহ ঃ

(*i*) বায়ুমণ্ডলের চাপের উপর স্ফুটনাঙ্ক নির্ভর করে, চাপ কম থাকিলে স্ফুটনাঙ্ক নামিয়া যায়, চাপ বাড়িলে স্ফুটনাঙ্ক বাড়ে।

(*ii*) বায়ুমণ্ডলের উষ্ণতার উপর স্ফুটনাঙ্ক নির্ভর করে না।

(*iii*) কোন বস্তু তরলে দ্রবীভূত অবস্থায় থাকিলে তরলের স্ফুটনাঙ্ক বাড়ে।

(*iv*) চাপ ঠিক রাখিয়া তাপ দিবার হার বাড়াইলে স্ফুটন দ্রুততর করা যায়।

3.22. সংপৃক্ত এবং অসংপৃক্ত বাষ্প (Saturated and Unsaturated Vapours) ঃ

একটি পরখনলে নির্দিষ্ট পরিমাণ জল লইয়া চিনি গলাইলে দেখা যায় যে, উহা এক নির্দিষ্ট পরিমাণ চিনি দ্রবীভূত অবস্থায় রাখিতে পারে ; যদি চিনি বেশী দেওয়া হয় তবে অতিরিক্ত চিনি না গলিয়া নীচে পড়িয়া থাকে। কিন্তু উষ্ণতা বাড়াইলে আরও চিনি ঐ জলেই দ্রবীভূত হয়। নির্দিষ্ট উষ্ণতায় নির্দিষ্ট পরিমাণ জল যত বেশী চিনি দ্রবীভূত অবস্থায় রাখিতে পারে, যদি তত চিনিই ঐ জলে দ্রবীভূত থাকে তবে ঐ চিনির দ্রবণকে ঐ উষ্ণতায় সংপৃক্ত দ্রবণ বলে, যদি দ্রবণে চিনির পরিমাণ ইহা অপেক্ষা কম হয় তবে ঐ দ্রবণকে অসংপৃক্ত দ্রবণ বলে।

ঠিক সেই প্রকার কোন নির্দিষ্ট আয়তনের মধ্যে কোন নির্দিষ্ট উষ্ণতায় যত বেশী জলীয় বাষ্প * অদৃশ্য অবস্থায় থাকিতে পারে তাহা যদি থাকে তবে ঐ স্থানকে জলীয় বাষ্প দ্বারা সংপৃক্ত (saturated) বলা হয় ; আর যদি জলীয় বাষ্পের পরিমাণ ইহা অপেক্ষা কম হয় তবে ঐ স্থানকে অসংপৃক্ত (unsaturated) বলে।

মনে কর, পরবর্তী পৃষ্ঠার চিত্রের ন্যায় একটি সিলিণ্ডারে একটি পিষ্টন যুক্ত আছে এবং সিলিণ্ডারের সহিত একটি পার্শ্বনল দ্বারা একটি জলের পাত্র সংযুক্ত আছে। জলের পাত্র ও সিলিণ্ডারের মধ্যে একটি স্টপ-কক আছে।

---

* জলকণা ও জলীয় বাষ্প এক কথা নহে ; জলীয় বাষ্প আমরা দেখিতে পাই না ; কিন্তু জলীয় বাষ্প জমিয়া জলকণায় পরিণত হইলে উহা আমরা দেখিতে পাই।

এখন স্টপ-কক খোলা থাকিলে জলীয় বাষ্প সিলিণ্ডারে সর্বত্র ছড়াইয়া থাকিবে। কোন নির্দিষ্ট উষ্ণতায় সাম্যাবস্থা হইলে সিলিণ্ডারে ঐ উষ্ণতায় যত বেশী জলের অণু থাকা সম্ভবপর তাহাই থাকিবে, অর্থাৎ সিলিণ্ডারের মধ্যস্থ স্থান জলীয় বাষ্প দ্বারা সংপৃক্ত হইবে।

জলপাত্রের সহিত সংযুক্ত সিলিণ্ডার ও পিষ্টন ব্যবস্থা

এখন যদি পিষ্টন টানিয়া সিলিণ্ডারের মধ্যস্থ আয়তন বাড়ানো হয় তবে আরও কিছু জল বাষ্প হইয়া ঐ অতিরিক্ত স্থান পূর্ণ করিবে এবং পাত্র জলীয় বাষ্প দ্বারা সংপৃক্ত হইবে; অর্থাৎ প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে আগে যত জলীয় বাষ্পের অণু ছিল এখন আবার ততটাই থাকিবে। সুতরাং বাষ্পের ঘনত্ব না কমায় সিলিণ্ডারের আয়তন বাড়া সত্ত্বেও চাপ কমিবে না। আবার যদি পিষ্টন ঠেলিয়া সিলিণ্ডারের আয়তন কমাইয়া দেওয়া যায়, তবে ঐ উষ্ণতায় ঐ আয়তনে যত জলীয় বাষ্প থাকিতে পারে তাহার অতিরিক্ত জলীয় বাষ্প জমিয়া জল হইবে এবং সিলিণ্ডারের মধ্যস্থ স্থান জলীয় বাষ্প দ্বারা সংপৃক্তই থাকিবে। বাষ্পের ঘনত্ব বৃদ্ধি না হওয়ায় সিলিণ্ডারের আয়তন কম হওয়া সত্ত্বেও চাপ বাড়িবে না। অর্থাৎ, **সংপৃক্ত বাষ্প বয়েলের সূত্র মানিয়া চলে না।**

আবার তরলের সহিত যুক্ত থাকিলে কোন পাত্রের মধ্যস্থ স্থান সর্বদা সংপৃক্ত থাকে।

উষ্ণতা বাড়াইলে সংপৃক্ত বাষ্পের চাপ বাড়ে, কিন্তু সাধারণ গ্যাসের চাপ অনুরূপ ব্যবস্থায় যে হিসাবে বাড়ে এই ক্ষেত্রে সেইরূপ হয় না। আয়তনের উপর সংপৃক্ত বাষ্পের চাপ নির্ভর করে না। অর্থাৎ, **সংপৃক্ত বাষ্প চার্লসের নিয়মও মানিয়া চলে না।**

এখন যদি স্টপ-ককটি বন্ধ করিয়া দিয়া সিলিণ্ডারের পিষ্টন স্থানচ্যুত না করা হয় তবে সিলিণ্ডারের ভিতরের স্থান সংপৃক্ত থাকিবে, এবং পিষ্টন ঠেলিয়া দিয়া আয়তন কমাইলেও ঐ স্থান সংপৃক্তই রহিবে। কিন্তু পিষ্টন টানিয়া আয়তন বাড়াইলে সিলিণ্ডারের মধ্যের স্থান অসংপৃক্ত হইয়া যাইবে। কারণ, তখন প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ সংপৃক্তির জন্য যতটা প্রয়োজন তার চেয়ে কম হইবে। ফলে চাপ কমিবে। যতক্ষণ ঐ স্থান সংপৃক্ত না হইবে ততক্ষণ আয়তন কমাইলে

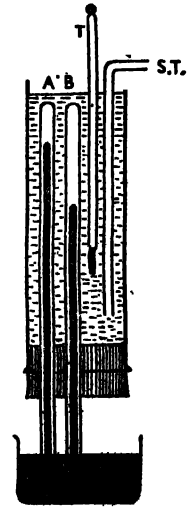
চাপও বাড়িবে। অর্থাৎ, অসংপৃক্ত বাষ্প সংপৃক্ত না হওয়া পর্যন্ত বয়েলের নিয়ম মানিয়া চলে।

কোন পাত্রে সংপৃক্ত বাষ্প লইয়া উষ্ণতা বাড়াইলে উহা অসংপৃক্ত হইয়া যাইবে। সংপৃক্তি এবং অসংপৃক্তি সম্পর্কে যাহা বলা হইল তাহা জলীয় বাষ্প ভিন্ন অন্য প্রকার বাষ্প সম্পর্কেও প্রযোজ্য।

সংপৃক্ত বাষ্পের চাপ নির্ণয়ঃ দুইটি ব্যারোমিটার পাশাপাশি সাজাইয়া একটির মধ্যে বাঁকা কাঁচনলের সাহায্যে একটু জল তুলিয়া দাও। দেখিবে, ঐ নলের পারদ অন্যটির তুলনায় এক সেন্টিমিটারেরও বেশী নীচে নামিয়া গিয়াছে; অথচ পারদের উপরে জল সামান্যই আছে। জলের ভারে পারদ নামে নাই, কারণ পারদ-স্তম্ভ এক সেন্টিমিটার নামাইতে জলের স্তম্ভের উচ্চতা 13·6 সেন্টিমিটার হওয়া প্রয়োজন। পারদ নামিয়াছে ঐ ব্যারোমিটার-নলের উপরিস্থ সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপে। সুতরাং অন্য ব্যারোমিটারের সহিত তুলনা করিয়া সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ জানা যায়।

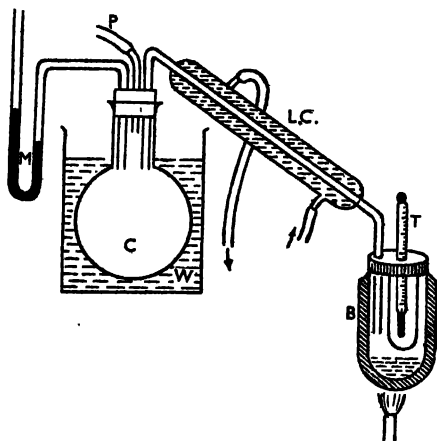
যদি দুইটি ব্যারোমিটার নলই একটি জ্যাকেট নল দ্বারা ঘিরিয়া উহাতে জল দিয়া ঐ জল স্টীম দ্বারা উত্তপ্ত করিবার ব্যবস্থা করা যায় তবে বিভিন্ন উষ্ণতায় জলীয় বাষ্পের চাপ কত তাহা জানা যায়।

50°C হইতে 100°C পর্যন্ত উষ্ণতায় জলীয় বাষ্পের চাপ নির্ণয়ের ব্যবস্থা

(i) চাপ কমাইলে কম উষ্ণতায় জল ফুটে এবং ঐ সময় জলীয় বাষ্পের চাপ জলের উপরের চাপের সমান হয় এবং (ii) জল ফুটিবার সময় উষ্ণতা বাড়ে না—এই মূল তত্ত্বের উপর নির্ভর করিয়া রেণো (Regnault) এমন এক ব্যবস্থা করিয়াছেন যাহাতে 50°C উষ্ণতা হইতে 365°C উষ্ণতা পর্যন্ত সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ মাপা সম্ভবপর। নিম্নে ইহার বিবরণ ও কার্যপ্রণালী বর্ণনা করা হইল।

রেণোর পরীক্ষাঃ একটি গোল তামার পাত্র C-তে তিনটি নল সংযুক্ত আছে। প্রথমটি একটি ম্যানোমিটারের সহিত, দ্বিতীয়টি লিবিগের পাতন যন্ত্রে (Liebig's Condenser) এবং তৃতীয়টি একটি পাম্পে যুক্ত করা যায়। পাম্প বায়ু-নিষ্কাশক অথবা বায়ু-প্রবেশকও হইতে পারে।

তামার পাত্রটির উষ্ণতার প্রভেদ না ঘটিবার জন্য একটি বড় জলপাত্র W-র মধ্যে রাখা হয় এবং পাতন যন্ত্রের অন্য প্রান্ত জল ফুটাইবার একটি পাত্রের সহিত

সংযুক্ত থাকে। জল ফুটাইবার পাত্রটি একটি শক্ত ধাতব পাত্র ; উহাতে একটি ধাতব পরখ নলের মধ্যে থার্মমিটার T বসানো থাকে।

সাধারণ স্ফুটনাঙ্ক অপেক্ষা অধিক উষ্ণতায় সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ মাপিবার জন্য P-নলটি একটি বায়ু-সংনমন পাম্পের (Condensing pump-এর) সহিত যুক্ত করিতে হয়। C-র ভিতর বায়ু প্রবেশ করাইয়া কিছু চাপ বাড়াইলে ঐ বর্ধিত চাপ কত তাহা ম্যানোমিটার হইতে পড়িয়া লওয়া যাইবে। এখন স্ফুটন-পাত্রটি (boiler) গরম করিয়া লক্ষ্য কর কখন থার্মমিটার এক নির্দিষ্ট দাগে আসিয়া স্থির হয়। তাপ যখন দেওয়া হইতেছে তখন উষ্ণতা না বাড়িলে বুঝিতে হইবে তরলের অবস্থান্তর ঘটিতেছে, অর্থাৎ উহা ফুটিতেছে। ঐ সময় জলীয় বাষ্পের চাপ উহার উপরিস্থ চাপের সমান হইবে। কাজেই এক্ষেত্রে ম্যানোমিটার যে চাপ নির্দেশ করিতেছে তাহাই থার্মমিটারের প্রদর্শিত উষ্ণতায় জলীয় বাষ্পের চাপ, কারণ C পাত্রের বায়ু এবং স্ফুটন-পাত্রের বায়ু সংযুক্ত বলিয়া চাপ সর্বত্র সমান।

জলীয় বাষ্পের চাপ নির্ণয়ের জন্য রেণোর যন্ত্র

এইভাবে চাপ বাড়াইয়া কত ডিগ্রি উষ্ণতায় জল ফুটে লক্ষ্য করিয়া ম্যানোমিটার দেখিয়া সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ নির্ণয় করা যায়।

P-নলটি বায়ু নিষ্কাশক পাম্পে (air pump) যুক্ত করিয়া C হইতে বায়ু কমাইয়া সাধারণ চাপের কম চাপে এবং সেই কারণে সাধারণ স্ফুটনাঙ্কের কম উষ্ণতায় অনুরূপ-ভাবে সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ নির্ণয় করা চলে।

C পাত্রে যে চাপে বায়ু থাকে স্ফুটন-পাত্রেও সেই চাপেই বায়ু থাকে, কাজেই পাতন যন্ত্রের সাহায্যে বাষ্পকে ঘনীভূত করিয়া জল স্ফুটন-পাত্রে ফিরাইয়া আনিলে পাত্রের মধ্যস্থ চাপ কোন স্থানে কমবেশী হইবে না ; অথচ স্ফুটন-পাত্রে যে সকল সময়ই জল আছে সেই সম্পর্কে নিশ্চিত থাকা যায়।

রেণো উপরোক্ত উপায়ে বিশেষভাবে পরীক্ষা করিয়া বিভিন্ন উষ্ণতায় সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ নির্ণয় করিয়া একটি পঞ্জী প্রস্তুত করিয়াছেন। সেই পঞ্জী এ-সম্পর্কে সকলে প্রামাণ্য বলিয়া গ্রহণ করে।

8.24. জলের স্ফুটনাঙ্ক দেখিয়া কোন স্থানের উচ্চতা সম্পর্কে ধারণা করা ঃ

সমুদ্রপৃষ্ঠ হইতে যে স্থান যত বেশী উচ্চে সেই স্থানের বায়ুমণ্ডলের চাপ তত কম। সেইস্থানে খোলা পাত্রে জল ফুটাইলে সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপও উহার সমান হইবে। সুতরাং স্ফুটনাঙ্ক দেখিয়া রেণোর পঞ্জী হইতে জলীয় বাষ্পের সংপৃক্ত চাপ জানা যাইবে। ঐ চাপ ঐ স্থানের বায়ুমণ্ডলের চাপ হইবে।

সমুদ্রপৃষ্ঠে বায়ুচাপ 760 মিলিমিটার পারদ-স্তম্ভের সমান ধরিয়া উচ্চস্থানের বায়ুমণ্ডলের চাপের সহিত পার্থক্য নির্ণয় করিতে হইবে। ঐ পার্থক্য 26·4 মিলিমিটার হইলে সমুদ্রপৃষ্ঠ হইতে ঐ স্থানের উচ্চতা হইবে মোটামুটি 950 ফুট।

উপরের বায়ু হাল্‌কা বলিয়া পারদ-স্তম্ভের পার্থক্য বেশী হইলে এই অনুপাতে উচ্চতার পার্থক্য হইবে না। তবে মোটামুটিভাবে উচ্চতা সম্পর্কে ধারণা করা চলিবে।

প্রশ্ন

1. বাষ্পায়ন বলিলে কি কি প্রক্রিয়া বুঝায়? ঐ প্রক্রিয়াগুলির মধ্যে পার্থক্য কি কি?

(What are the processes indicated by the term vaporisation? What are the differences in these processes?)

2. নিম্নলিখিত উক্তিগুলির কারণ নির্দেশ কর :—

(a) একই অবস্থায় রক্ষিত মাটির কলসীর জল পিতলের কলসীর জল অপেক্ষা ঠাণ্ডা হয়।

(b) ঘর্মাক্ত কলেবরে পাখার নীচে বসিলে বেশ ঠাণ্ডা লাগে।

(c) হাতে স্পিরিট পড়িলে হাত শীতল হয়।

(Give reasons for the following :—

(a) The water in an earthenware pot becomes colder than the water in a brassware pot kept under similar conditions.

(b) After perspiration we feel quite cold when under a fan at work.

(c) We feel cold when spirit is dropped on the backside of the hand.)

3. তরলের স্ফুটনাঙ্ক বলিলে কি বুঝায়? চাপ কমাইলে তরল সাধারণ স্ফুটনাঙ্ক অপেক্ষা অনেক কম উষ্ণতায়ও ফুটিতে থাকে। ইহা দেখাইবার জন্য একটি পরীক্ষা বর্ণনা কর।

(What is meant by the boiling point of a liquid? A liquid boils at a lower temperature under reduced pressure. Describe an experiment to show this.)

4. ফুটন্ত জলের বাষ্পের চাপ ঐ বাষ্পের উপর প্রযুক্ত চাপের সমান হয়, এই কথা প্রমাণ করিবার জন্য উপযুক্ত পরীক্ষা বর্ণনা কর।

(Describe a suitable experiment to prove that water boils when its vapour pressure is equal to the super incumbent pressure.)

5. সংপৃক্ত এবং অসংপৃক্ত বাষ্পের পার্থক্য কি ?

রেণোর পরীক্ষা দ্বারা সাধারণ স্ফুটনাঙ্কের অধিক উষ্ণতায় কিভাবে জলীয় বাষ্পের চাপ নির্ণয় করা যায় তাহা উপযুক্ত চিত্রের সাহায্যে ব্যাখ্যা কর।

(Distinguish between saturated and unsaturated vapours.
Describe with a suitable diagram Regnault's experiment for the determination of vapour pressure of water at temperature higher than the normal boiling point.)

6. বাষ্পীভবন এবং স্ফুটনের মধ্যে পার্থক্য নির্দেশ কর।

(Distinguish between evaporation and boiling.)

7. জলের স্ফুটনাঙ্ক দেখিয়া কোন স্থানের উচ্চতা সম্পর্কে কিরূপে মোটামুটি ধারণা করা যায় বুঝাইয়া বল।

(Explain how we can get a rough idea about the height of a place by observing the boiling point of water.)

তৃতীয় পাঠ

3.3 বায়ুর আর্দ্রতা (Hygrometry) ঃ

বায়ুতে প্রচুর জলীয় বাষ্প আছে, এই জলীয় বাষ্প বায়ুতে যত বেশী থাকে বায়ু তত আর্দ্র হয় বা বায়ুর আর্দ্রতা তত বেশী হয়।

বায়ুর আর্দ্রতার ধারণার জন্য—অর্থাৎ, বায়ুতে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ বেশী অথবা কম আছে তাহা বুঝিবার জন্য বায়ুর আর্দ্রতার সংজ্ঞা এইভাবে দেওয়া হয় :

সংজ্ঞা ঃ কোন সময়ে বায়ুর যে-কোন নির্দিষ্ট আয়তনে যে ওজনের জলীয় বাষ্প প্রকৃতপক্ষে উপস্থিত আছে, এবং ঐ সময়ে বায়ুর উষ্ণতা যত, ঐ উষ্ণতায় ঐ নির্দিষ্ট আয়তন বায়ুকে সংপৃক্ত করিতে যে ওজনের জলীয় বাষ্প প্রয়োজন, উহাদের অনুপাতকে ঐ নির্দিষ্ট স্থানের ঐ দিনের ঐ সময়ের আর্দ্রতা বলে। সুতরাং

$$\text{আর্দ্রতা} = \frac{\text{ঘরের উষ্ণতায় যে-কোন নির্দিষ্ট আয়তনের বায়ুতে যে ওজনের জলীয় বাষ্প আছে}}{\text{ঘরের উষ্ণতায় ঐ আয়তনের বায়ু সংপৃক্ত হইতে যে ওজনের জলীয় বাষ্পের প্রয়োজন}}$$

অর্থাৎ, বায়ু জলীয় বাষ্প দ্বারা সংপৃক্ত হইতে কত বাকী তাহা ঐ অনুপাত হইতে বুঝা যায়; ঐ অনুপাতকে সাধারণত একশত দ্বারা গুণ করিয়া আর্দ্রতা (humidity) শতকরা হিসাবে প্রকাশ করা হয়।

যদি আর্দ্রতা 50% হয় তবে বুঝা গেল যে, বায়ু ঐ সময়ে জলীয় বাষ্প দ্বারা সংপৃক্ত হইতে হইলে যত জলীয় বাষ্প বায়ুতে থাকা প্রয়োজন ছিল তাহার তুলনায়

অর্ধেক জলীয় বাষ্প আছে, ইত্যাদি। স্পষ্টই দেখা যায় যে, বায়ুর আর্দ্রতা সংজ্ঞা হইতে নির্ণয় করিতে হইলে নির্দিষ্ট পরিমাণ বায়ুতে কত জলীয় বাষ্প আছে তাহা প্রথমে নির্ণয় করিতে হইবে এবং পরে ঐ উষ্ণতায় ঐ আয়তনের সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের ওজন কত তাহা নির্ণয় করিতে হইবে।

প্রকৃতপক্ষে **রাসায়নিক হাইগ্রোমিটার (Chemical Hygrometer)** দ্বারা নির্দিষ্ট আয়তনের বায়ুতে যত জলীয় বাষ্প আছে তাহার পরিমাণ জানিয়া আর্দ্রতা হিসাব করিয়া বাহির করিবার পদ্ধতি আছে। কিন্তু ইহা সময় এবং অনেক হিসাব-সাপেক্ষ। পরোক্ষভাবে ইহা অতি সহজে অন্য উপায়ে নির্ণয় করা চলে।

শিশিরাঙ্ক ঃ বায়ু জলীয় বাষ্প দ্বারা সংপৃক্ত হইলে কোন স্থান অতি সামান্য ঠাণ্ডা হইলেই সেই স্থানে জলকণা জমিয়া যাইবে। এবং ঘরের উষ্ণতায় বায়ুর প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে যত জলীয় বাষ্প আছে, তাহা ঐ উষ্ণতায় বায়ুকে সংপৃক্ত করিতে না পারিলেও কোন বস্তুর নিকটস্থ বায়ুর উষ্ণতা কমাইলে ঐ জলীয় বাষ্পই বায়ুকে কম উষ্ণতায় সংপৃক্ত করিতে পারিবে এবং সেই উষ্ণতায় বায়ুর জলীয় বাষ্প শিশির-কণারূপে ঐ বস্তুর উপর জমিয়া যাইবে। কোন দিন কোনও সময়ে যে উষ্ণতায় ঐ ব্যাপার ঘটিবে সেই দিনের ঐ উষ্ণতাকে তৎকালীন **শিশিরাঙ্ক (Dew point)** বলা হয়।

সংজ্ঞা ঃ কোন দিন কোন এক সময়ে যে উষ্ণতায় বায়ুতে উপস্থিত জলীয় বাষ্প বায়ুকে সংপৃক্ত করিতে সমর্থ হয় সেই উষ্ণতাকে ঐ দিনের ঐ সময়ের **শিশরাঙ্ক (Dew point)** বলে।

শিশিরাঙ্ক নির্ণয় করিবার পর রেণোর পঞ্জী হইতে সহজে আর্দ্রতা জানা যায়।

ভগ্নাংশ হিসাবে আর্দ্রতার যে সংজ্ঞা দেওয়া হইয়াছে তাহা ভালরূপে লক্ষ্য করিলে বুঝা যায় যে, যেহেতু জলীয় বাষ্পের চাপ নির্দিষ্ট আয়তনে উপস্থিত জলীয় বাষ্পের ঘনত্বের সহিত সমানুপাতিক* সেই হেতু ঐ ভগ্নাংশে ওজনের বা ভরের পরিবর্তে জলীয় বাষ্পের চাপ লিখিয়াও প্রকাশ করা চলে।

$$\therefore \text{ আর্দ্রতা} = \frac{\text{ঘরের উষ্ণতায় বায়ুতে উপস্থিত অসংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ}}{\text{ঘরের উষ্ণতায় বায়ু জলীয় বাষ্প দ্বারা সংপৃক্ত হইলে ঐ বাষ্পের যে চাপ হইবে}}$$

$$= \frac{\text{ঘরের উষ্ণতায় অসংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ}}{\text{ঘরের উষ্ণতায় সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ}}$$

* নির্দিষ্ট উষ্ণতায় যে-কোন গ্যাসীয় বস্তুর চাপ উহার ঘনত্বের সমানুপাতিক এবং বায়ুর সহিত মিশ্রিত হইলেও জলীয় বাষ্পের নিজস্ব চাপের প্রভেদ হয় না। আয়তন ও উষ্ণতা নির্দিষ্ট থাকিলে নির্দিষ্ট স্তরের একাধিক গ্যাসীয় বস্তু মিশ্রিত থাকিয়া যে চাপ দেয় উহা ঐ গ্যাসগুলির ঐ আয়তন ও উষ্ণতায় নিজস্ব পৃথক পৃথক চাপের সমষ্টির সমান। ইহাকে Dalton's Law of partial pressures বলে।

কিন্তু ঘরের উষ্ণতায় যে জলীয় বাষ্প বায়ুকে সংপৃক্ত করিতে পারে না তাহাই শিশিরাঙ্কে ঐ বায়ুকে সংপৃক্ত করিতে পারে। সুতরাং

ঘরের উষ্ণতায় অসংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ = শিশিরাঙ্কে সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ

$$\text{আর্দ্রতা} = \frac{\text{শিশিরাঙ্কে সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ}}{\text{ঘরের উষ্ণতায় সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ}}$$

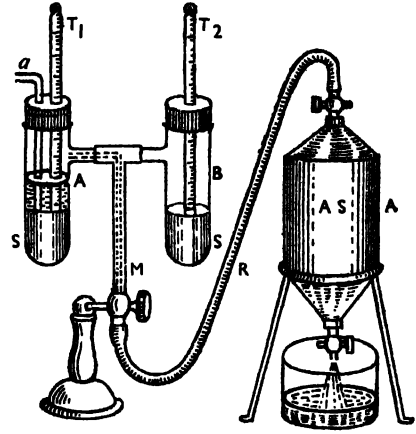
অর্থাৎ, ঘরের উষ্ণতা এবং শিশিরাঙ্কের উষ্ণতায় সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ জানিলেই আর্দ্রতা নির্ণীত হইবে ; কারণ রেগোর পঞ্জী হইতে ঐ দুই উষ্ণতায় সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ জানা যাইবে। সুতরাং ঘরের উষ্ণতা জানিয়া শিশিরাঙ্ক নির্ণয় করিলেই রেগোর পঞ্জী দেখিয়া আর্দ্রতা নির্ণয় করা চলিবে। অর্থাৎ, বায়ুর আর্দ্রতা নির্ণয় শিশিরাঙ্ক নির্ণয়ে পর্যবসিত হইবে।

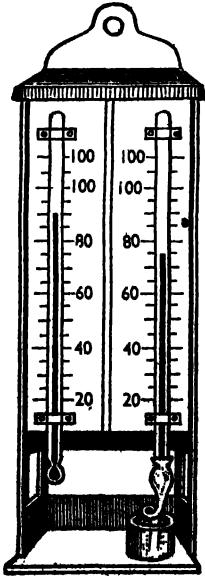
3.31. শিশিরাঙ্ক নির্ণয় (Determination of Dew point) :

শিশিরাঙ্ক নির্ণয়ের জন্য দুইটি উপায় এখানে বর্ণিত হইতেছে।

(1) **রেগোর হাইগ্রোমিটার :** এই যন্ত্রে একটি স্ট্যাণ্ডের দুই পাশে দুইটি পরখ নল বসানো থাকে। উহাদের উভয়েরই নীচের দিক কাঁচের পরিবর্তে এক একটি রূপার অঙ্গুলিত্রানের ন্যায় অংশ (silver thimbles) দ্বারা নির্মিত। ঐ অংশগুলির বাহিরের দিক খুবই মসৃণ। উহাদের একটি খালি এবং উহার মধ্যে একটি থার্মমিটার বসানো থাকে এবং অপরটিতে ইথার থাকে এবং একটি থার্মমিটার, একটি পার্শ্বনল ও একটি বাঁকা নল যুক্ত থাকে। বাঁকা নলটি পরখনলের তল পর্যন্ত পৌঁছে। পার্শ্বনলটি ক্ল্যাম্পের মধ্যস্থ একটি ছিদ্রের মধ্য দিয়া দূরে অবস্থিত একটি জলপূর্ণ পাত্র বা শোষণ-পাত্রের (aspirator) সহিত রবারের নল দ্বারা যুক্ত থাকে।

দূর হইতে একটি দূরবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে ঐ দুইটি রূপার তৈয়ারী মসৃণ অংশগুলি দেখিতে হয়। জলপূর্ণ শোষণ-পাত্রের জল ছাড়িয়া দিলে বাহির হইতে বাঁকানো নলের ভিতর দিয়া বায়ু আসিয়া ইথারের মধ্য দিয়া বুদ্‌বুদ্‌ উঠাইয়া ঐ পাত্রে যাইবে, ফলে ইথার বাষ্প হইবে এবং পরখ নল হইতে লীন তাপ শোষণ করিয়া লইবে। ঐ পরখ নলের রূপার অংশ ক্রমে ঠাণ্ডা হইয়া শিশিরাঙ্কে পৌঁছিবে, তখন উহার বাহিরের গায়ে বিন্দু বিন্দু শিশির জমিয়া যাইবে এবং উহা পার্শ্ববর্তী অন্য পরখ নলের রূপার অংশের তুলনায় কম চকচকে দেখাইবে। যে মুহূর্তে

ঐরূপ মনে হইবে তৎক্ষণাৎ দূরবীনের ভিতর দিয়াই ইথারে নিমজ্জিত থার্মমিটার যে উষ্ণতা নির্দেশ করে তাহা পড়িয়া লইতে হইবে এবং সঙ্গে সঙ্গে শোষণ-পাত্রের স্টপ-কক বন্ধ করিয়া জল পড়া বন্ধ করিতে হইবে। এখন আর ইথার বাষ্প না হওয়ায় একটু পরেই শিশির উড়িয়া যাইবে এবং উভয় পরখ নলের রূপার অংশ সমান উজ্জ্বল দেখাইবে। তখনই আবার ঐ থার্মমিটারে উষ্ণতা পড়িতে হইবে। এই উভয় উষ্ণতার গড় উষ্ণতাই শিশিরাঙ্ক। অন্য পরখ নলের থার্মমিটারটি হইতে বায়ুর স্বাভাবিক উষ্ণতা পাওয়া যাইবে।

রেগোর হাইগ্রোমিটার দ্বারা শিশিরাঙ্ক নির্ণয়

সুতরাং আগের নিয়মে রেগোর পঞ্জী দেখিয়া বায়ুর আর্দ্রতা নির্ণয় করা যাইবে।

ড্রাই এণ্ড ওয়েট বাল্‌ব থার্মমিটার

(2) ভিজা ও শুষ্ক কুণ্ড যুক্ত থার্মমিটার দ্বারা (By wet and dry bulb Thermometers):

এই যন্ত্রে দুইটি থার্মমিটার আছে, একটির কুণ্ড একটি মসলিন কাপড়ের টুকরা দ্বারা ঢাকা থাকে; ঐ কাপড়ের টুকরার অন্য প্রান্ত একটি জলপাত্রে ডুবানো থাকে। কুণ্ড সর্বদা ভিজা কাপড় দ্বারা জড়ানো থাকে বলিয়া উহা হইতে জল বাষ্প হইয়া উড়িয়া যায়, ফলে উহা ঠাণ্ডা হয় এবং ইহার উষ্ণতা শুষ্ক থার্মমিটার অপেক্ষা সর্বদা কম থাকে। যদি বায়ুতে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ কমে তবে বাষ্পীভবন দ্রুত হয় আর জলীয় বাষ্পের পরিমাণ বাড়িলে বাষ্পীভবনের হার খুব কমিয়া যায়। কাজেই বায়ুতে জলীয় বাষ্প যত বাড়িবে ততই ঐ থার্মমিটার দুইটি দ্বারা নির্দেশিত উষ্ণতার পার্থক্য কমিবে, আর জলীয় বাষ্প কমিলে ঐ পার্থক্য বাড়িবে।

কোন এক সময়ে যদি শুষ্ক থার্মমিটারে t_1°C এবং ভিজা থার্মমিটারে t_2°C

উষ্ণতা হয় এবং তখন শিশিরাঙ্ক t ধরা হয় তবে **গ্লেইশারের (Gliasher)** সূত্র অনুযায়ী $t_1 - t = G(t_2 - t_1)$

G একটি স্থিরাঙ্ক ; উহা জানিয়া t বাহির করা যায় এবং রেণোর পঞ্জী দেখিয়া আর্দ্রতা নির্ণয় করা যায়। এই জাতীয় প্রত্যেক হাইগ্রোমিটারের সহিত G নির্ণয় করিবার পঞ্জী দেওয়া থাকে।

বায়ুতে জলীয় বাষ্পের উপস্থিতির ফলাফল (Effect of atmospheric moisture) :

গ্রীষ্মকালে গরমে বেশী কষ্ট পাওয়া না পাওয়ার সহিত বায়ুর আর্দ্রতার পরিমাণের ঘনিষ্ঠ সম্পর্ক রহিয়াছে।

গরমের দিনে বায়ুর উষ্ণতা সাধারণত আমাদের শরীরের উষ্ণতা অপেক্ষা বেশী হয় ; কাজেই বায়ু হইতে আমাদের শরীরে তাপ আসে এবং সেই কারণে আমরা গরম অনুভব করি। কিন্তু অবস্থা অনুকূল হইলে এক উপায়ে আমরা তাপ হারাইতে পারি। আমাদের লোমকূপের ভিতর হইতে সর্বদা ঘাম বাহির হয়। ঐ জল যদি দ্রুত বাষ্প হয় তবে আমাদের শরীর হইতে লীন তাপ গ্রহণ করিবে এবং আমরা তাপ হারাইয়া ঠাণ্ডা অনুভব করিব। কিন্তু বায়ুর আর্দ্রতা বেশী হইলে ঘাম সহজে বাষ্প হইবে না তখন বায়ুর উষ্ণতা আমাদের শরীর হইতে খুব বেশী না হইলেও আমরা গলদঘর্ম হইয়া কষ্ট পাইব।

সেই কারণে গ্রীষ্মকালে কলিকাতার উষ্ণতা দিল্লী বা বারাণসী অপেক্ষা কম থাকিলেও আর্দ্রতা বেশী বলিয়া কলিকাতায় গরমে বেশী কষ্ট হয়।

এয়ার কণ্ডিশণ্ড (air conditioned) ঘরগুলিতে কৃত্রিম উপায়ে বায়ুর আর্দ্রতা এবং উষ্ণতা এমনভাবে নিয়ন্ত্রিত করা হয় যাহাতে আমরা খুব আরাম বোধ করিতে পারি।

কুয়াসা, মেঘ ও বৃষ্টি (Dew, mist, cloud and rain) :

আমরা কথায় বলি 'শিশির পড়িয়াছে' ; কিন্তু কোন জিনিসের উপর শিশির পড়ে না—শিশির জমে।

সূর্য অস্ত গেলে সকল জিনিসই ঠাণ্ডা হইতে থাকে। কোন কোন জিনিস তাপ বিকিরণ করিয়া এত ঠাণ্ডা হয় যে উহার সংস্পর্শে উহার চারিপাশের নিকটস্থ বায়ুর উষ্ণতা কমিয়া শিশিরাঙ্কের নীচে চলিয়া আসে তখন ঐ ঠাণ্ডা বস্তুর উপর শিশির জমে।

রাত্রির আকাশ মেঘে ঢাকা থাকিলে সেই রাত্রে কোন জিনিসের উপর শিশির জমে না ; কারণ সেই রাত্রে পৃথিবী যথেষ্ট তাপ বিকিরণ করিতে পারে না।

রাত্রে বেগে বায়ু বহিতে থাকিলে বায়ুর জলীয় বাষ্প শিশির রূপে জমিতে না জমিতেই বাষ্প হইয়া উড়িয়া যায় ; সুতরাং রাত্রে শিশির জমে না।

যে সকল বস্তু মাটি হইতে অনেক উপরে থাকে উহারা ঠাণ্ডা হইলেও উহাদের গায়ে শিশির খুবই কম জমে। কারণ, বায়ু ঠাণ্ডা হইলে আগে নীচে চলিয়া আসে এবং সেই বায়ু আরও ঠাণ্ডা হইলে উহা হইতে শিশির জমে। সেই কারণে মাটির নিকটস্থ দ্রুত তাপ বিকিরণকারী বস্তুতে বেশী শিশির জমে। রাত্রিতে মেঘমুক্ত আকাশ এবং স্তব্ধ বাতাস থাকিলে মাটির নিকটস্থ ঘাস প্রভৃতির উপর প্রচুর শিশির জমে।

কুয়াসা ঃ জলীয় বাষ্প ঠাণ্ডায় জমিয়া জলকণায় পরিণত হয় সত্য, কিন্তু বায়ুতে ধূলিকণা না থাকিলে যত ঠাণ্ডা হইলে জলীয় বাষ্প জলকণায় পরিণত হয়, ধূলিকণা থাকিলে তত ঠাণ্ডা না হইলেও ধূলিকণাগুলিকে আশ্রয় করিয়া ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র জলকণা জমিয়া যায়।

শীতের রাত্রে যখন মাটির বা জলের নিকটের এক গভীর স্তরের বায়ু এক সঙ্গে বেশী ঠাণ্ডা হইয়া যায় তখন ঐ বায়ুতে ভাসমান ধূলিকণা থাকিলে সহজেই জলীয় বাষ্প ঐগুলির উপর জমিয়া জলকণায় পরিণত হয়। ঐ জলকণা সাধারণত বায়ুতেই ভাসিতে থাকে, উহাকে আমরা কুয়াসা বলি ; জলাশয়ের উপরের কুয়াসাকে কুহেলিকা বলা হয়।

শহরের বায়ু নানা কল-কারখানার ধূঁয়া ও ধূলি দ্বারা আচ্ছন্ন থাকে। সেই কারণে শহরের কুয়াসা যত ঘন হয় গ্রামাঞ্চলে সেইরূপ ঘন হয় না। যদি বেশী উপরের স্তর পর্যন্ত কুয়াসা জমে তবে ঐ কণাগুলি ক্রমে বড় হইয়া ধীরে ধীরে উপর হইতে ঝরিয়া পড়ে। ঐগুলিকে **জলকুয়াসা** (mist) বলে।

মেঘ ও বৃষ্টি ঃ সূর্যকিরণ যখন বায়ু ভেদ করিয়া আসে তখন বায়ু বিশেষ গরম হয় না। গরম মাটির সংস্পর্শে আসিয়াই বায়ু গরম হইয়া হাল্‌কা হইয়া উপরে উঠিয়া যায়। সঙ্গে সঙ্গে জলীয় বাষ্পও উপরে উঠে। বায়ুমণ্ডলের উপরে চাপ কম বলিয়া ঐ গরম বায়ু উপরে উঠিয়া প্রসারিত হয় এবং ইহার ফলে ঠাণ্ডা হইয়া যায়। তখন উহার মধ্যস্থ জলীয় বাষ্প ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র জলকণায় ঘনীভূত হইয়া যায় এবং বায়ুর মধ্য দিয়া নীচে নামিতে থাকে ; কিন্তু বায়ুতে বাধা পাওয়ায় ঐগুলি এত ধীরে ধীরে নামে যে ঐগুলিকে প্রায় বায়ুতে ভাসমান মনে হয়—ঐগুলিকেই আমরা মেঘ বলি।

মেঘ আরও ঠাণ্ডা বায়ুর সংস্পর্শে আসিলে ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কণাগুলি একত্র হইয়া বড় বড় ফোঁটায় পরিণত হয়। তখন আর ঐগুলি বায়ুর বাধায় আটকিয়া থাকে না— ঝরঝর করিয়া নীচে পড়িতে থাকে, ইহাকে আমরা বৃষ্টিপাত বলি।

প্রশ্ন

1. বায়ুর আর্দ্রতা বলিলে যাহা বুঝায় ব্যাখ্যা কর এবং শিশিরাঙ্কে সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপের সহিত আর্দ্রতার সম্পর্ক নির্দেশ কর।

(Explain what is meant by the humidity of air and establish a relation, between the saturated vapour pressure at the dew point and the humidity.)

2. রেণোর হাইগ্রোমিটারের সাহায্যে কিভাবে বায়ুর আর্দ্রতা নির্ণয় করা যায় বর্ণনা কর।

(Describe how the relative humidity can be determined with Regnault's Hygrometer.)

3. ওয়েট এণ্ড ড্রাই বাল্‌ব থার্মমিটারের দুইটি থার্মমিটারে উষ্ণতা পড়িয়া কিভাবে আর্দ্রতা নির্ণয় করা যাইবে ?

কোন সূত্র ব্যবহার না করিয়া শুধু ঐ যন্ত্র দেখিয়া কিভাবে বলা যায় যে, কোন বিশেষ দিনে আর্দ্রতা শতকরা 90 বা তার চেয়ে বেশী ? তোমার উত্তরের কারণ লিখ।

(How can the readings of the dry and wet bulb thermometer be used to determine the relative humidity ?

Without using any formula can you say by simply noting the readings of two thermometers that the relative humidity is at least greater than 90 per cent ? Give reasons for your answer.)

4 'শিশির পড়ে' কথাটা বিজ্ঞানসম্মত নহে কেন ? কি কি অবস্থা বেশী শিশির জমিবার পক্ষে অনুকূল এবং কি কি অবস্থা শিশির জমিবার প্রতিকূল ?

(Why is the statement 'dew is falling' not scientifically accurate ?)

What conditions are favourable for deposition of dew and what conditions are unfavourable ?)

5. (a) শীতকালের সকালে পুকুরের উপর ধুঁয়ার স্থায় কি দেখা যায় ? কেন ?

(b) শীতকালের সকালে বেশী ঠাণ্ডা থাকিলে মুখ হইতে বায়ু ছাড়িলে সিগারেটের ধুঁয়ার মত কি জিনিস বাহির হয় ? কেন ?

(*a*) (In the winter morning, sometimes smoke like things are seen over the water in pools. What are these ? How are these formed ?

(*b*) (In a very cold winter morning when you blow out air from the mouth it appears as if smoke is coming out. Why is it so ?)

Public Examination Questions

1. Define 'dew point'.

Of what use is it when it has been found ? What is the condition of the atmosphere when its dew point is equal to the temperature of the atmosphere ?

If the temperature of a room is raised, explain what the effect will be on (i) the dew point, (ii) Relative humidity of the atmosphere of the room. [H. S. 1960]

2. Distinguish between saturated and unsaturated vapours.

Devise a simple experiment by which the aquous tension at the room temperature may be determined.

A brass pitcher and a porous earthenware jug are both filled with water and placed side by side in air ; would you notice any difference in temperature between the two, after some time ? If so why ?

[H. S. 1961]

3. Explain any three of the following statements :

(a) Water can be made to boil at any temperature above or below 100°C.

(b) Vapour pressure of a liquid at 25°C is 30 mm. ;

(c) Wet clothes usually dry sooner in winter than in the rainy season though the temperature during the rainy season is higher ;

(d) A glass tumbler is seen to cloud over on the out side when ice-cold water is poured into it.

(e) Two blocks of ice when pressed together forms a single mass. [H. S. Comp. 1960]

4. Distinguish between evaporation and boiling. What do you mean by hygrometric state of air ?

Describe any apparatus with the help of which the hygrometric state of the air may be determined.

Draw a neat sketch of the apparatus you describe. [H. S. Comp. 1961]

5. Explain the following statements :

(i) Aquous tension at 15°C is 12·7 mm.

(ii) The dew point on a day is 12°C. [H. S. 1962.]

6. (i) A tumbler of cold water brought into a warm room is soon coated with fine mist out side. Explain.

(ii) Why does blowing on hot liquid help to cool it ? [C. U. I. Sc. 1941]

7. (a) Distinguish between—

(i) Boiling and evaporation

(ii) Saturated and unsaturated vapours.

(b) Define boiling point of a liquid. Describe suitable experiments to show that water can be made to boil at temperatures greater or less than 100°C. [C. U. I. Sc. 1941]

8. Write explanatory notes on—

(a) It takes less heat to boil water at Darjeeling than at Calcutta, the water being initially at the same temperature.

(b) The earthen pitcher is better for holding cold drinking water in summer than a brass pitcher.

(c) The temperature of two rooms is 72°F. The relative humidity of one is 25 and of the other is 55. In which room would you feel warmer and why ?

(d) Pieces of ice when pressed together form a single lump? Why? [C. U. I. Sc. 1946]

(e) The reading of a thermometer is altered by wrapping a wet rag round its bulb.

(f) It is unwise to allow wet clothes to dry upon the person. [C. U. I. Sc. 1947]

9. Define relative humidity.

Describe a wet and dry bulb hygrometer. How would you determine the relative humidity with its help?

A hot day at Puri causes greater discomfort than an equally hot day at Delhi. Why? [C. U. I. Sc. 1948]

10. Define 'dew point' and relative humidity. How would you determine the dew point for the atmosphere in the laboratory and show that this determination leads you to the calculation of the relative humidity of the laboratory atmosphere.

Explain what effect, if any, there will be on the dew point if—

(a) A quantity of water is gradually sprinkled in the room.

(b) The temperature of the atmosphere in the room is raised.
[C. U. I. Sc. 1959]

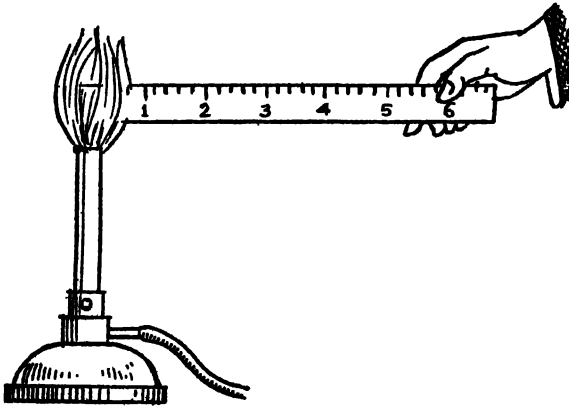
চতুর্থ অধ্যায়

তাপ সঞ্চালন

4.1. তাপ সঞ্চালনের বিভিন্ন উপায় (Different modes of transference of Heat) :

কোন বস্তুকে গরম করিতে হইলে ঐ বস্তু হইতে অধিক উষ্ণ কোন বস্তুর সাহায্য আবশ্যক। ঐ অধিক উষ্ণ বস্তু হইতে কম উষ্ণ বস্তুতে তাপ আসাকেই তাপ সঞ্চালন (transference of heat) বলে।

তাপ সঞ্চালনের তিনটি উপায় আছে। যথা—**পরিবহণ** (Conduction), **পরিচলন** (Convection) ও **বিকিরণ** (Radiation)। এই তিন উপায়ের যে-কোন এক, দুই বা সকল উপায়েই এক বস্তু হইতে অন্য বস্তুতে তাপ সঞ্চালিত হইতে পারে।

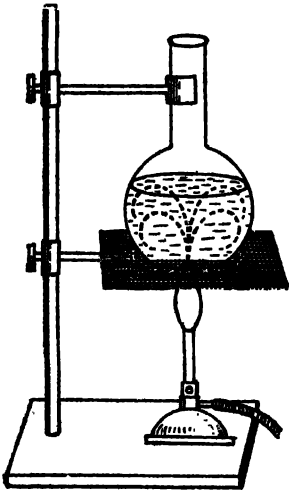
পরিবহণের পরীক্ষা : জ্যামিতিক চিত্র আঁকিবার জন্য কোন কোন ইন্‌স্ট্রুমেণ্ট বক্সে লোহার স্কেল থাকে। ঐরূপ একটি লোহার স্কেল লও। ইহার এক প্রান্ত হাতে

পরিবহণের পরীক্ষা

লইয়া অন্য প্রান্ত (বুনসেন্‌-বাতি অথবা স্পিরিট ল্যাম্প দ্বারা) গরম কর, একটু পরেই হাতে বেশ গরম লাগিবে ; আরও কিছুক্ষণ পরে উহা এত গরম হইবে যে, ইহা আর হয়ত হাতে রাখা যাইবে না।

সুতরাং এক্ষেত্রে তাপের উৎস স্পিরিট ল্যাম্প হইতে তাপ লোহার ভিতর দিয়া এক প্রান্ত হইতে অন্য প্রান্তে আসিয়াছে। দেখা যাইবে যে, স্কেলের যে দাগ যেখানে ছিল সেই দাগ সেই স্থানেই আছে, অর্থাৎ স্কেলের কোন অংশ স্থানচ্যুত হয় নাই।

যদি আমরা একটি দণ্ডের দৈর্ঘ্যের অর্ধেক তামা দ্বারা এবং বাকি অর্ধেক লোহা দ্বারা প্রস্তুত করি এবং যে-কোন এক প্রান্ত আগের মত গরম করি, তবে অন্য প্রান্ত গরম হইলে তামার মধ্যে লোহা এবং লোহার মধ্যে তামা মিশিয়া যাইবে না।

পরিবহণ ঃ উপরের পরীক্ষা হইতে বুঝা যায় যে পরিবহণ প্রণালী দ্বারা যে তাপ সঞ্চালিত হয় তাহাতে পরিবাহী জিনিসের কোন অংশ স্থানচ্যুত হয় না। বস্তুর এক অংশ তাপের উৎস হইতে তাপ লইয়া নিজের স্থানে থাকিয়াই পরবর্তী অংশে তাপ পাঠায়, এইভাবে তাপ এক স্থান হইতে অন্য স্থানে যায়।

পরিচলনের পরীক্ষা ঃ একটি ফ্লাস্কের অন্তত অর্ধেকটা পরিষ্কার জল দ্বারা পূর্ণ কর। এখন সাবধানে 2/3 টি পটাশ পারম্যাংগানেটের দানা ফ্লাস্কের জলের নীচে তলার ঠিক মধ্যস্থানে ফেলিয়া দাও। ফ্লাস্কের নীচে একটি স্পিরিট ল্যাম্প বা বুনসেন্-বাতি ধর। দেখা যাইবে যে, লাল জল প্রথমে সুতার ন্যায় সরু পথে উপরে উঠিয়া ঘুরিয়া নীচে নামিয়া আসিতেছে।

তরল বস্তুতে পরিচলনের পরীক্ষা

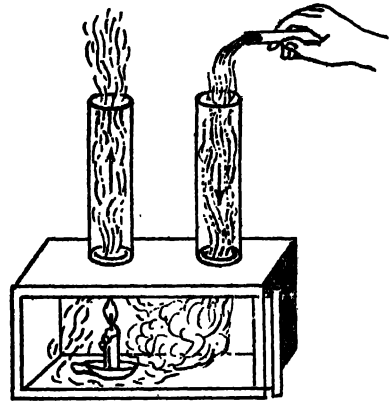
এস্থলে স্পষ্টই দেখা যাইতেছে যে, জলের এক অংশ উত্তপ্ত হইয়া (হাল্কা হাওয়ায়) উপরে উঠিয়া যাইতেছে এবং অপেক্ষাকৃত কম উত্তপ্ত অংশে গিয়া (তাপ ছাড়িয়া ঠাণ্ডা হইয়া) আবার নামিয়া আসিতেছে।

পরিচলন ঃ এই পরীক্ষা হইতে বুঝা যায় যে, পরিচলন প্রণালী দ্বারা যে তাপ সঞ্চালিত হয় তাহাতে যে বস্তুর ভিতর দিয়া তাপ পরিচালিত হইতেছে তাহার এক উত্তপ্ত অংশ অনুত্তপ্ত অংশে চলিয়া যায় এবং সেই অংশকে তাপ দেয়।

বায়ুতে পরিচলনের পরীক্ষা ঃ একটি কাঠের বাক্সের এক দিক কাঁচ দ্বারা বন্ধ করা যায়, ঐ বাক্সের উপর দিকে দুইটি ছিদ্র আর ঐ দুইটি ছিদ্রে দুইটি চিমনি লাগানো আছে।

বাক্সের ভিতরে একটি চিমনির নীচে একটি মোমবাতি রাখ, অপর চিমনিটির উপরে কয়েকটি জলন্ত ধূপকাঠি রাখিলে দেখা যাইবে যে, ধূপকাঠির ধুঁয়া ঐ

চিম্‌নির ভিতর দিয়া নীচে নামিতেছে এবং অপর চিম্‌নির ভিতর দিয়া উপরে উঠিয়া যাইতেছে।

মোমবাতির উপরের বায়ু গরম হইয়া উপরে উঠিয়া যাইতেছে। বাহির হইতে অপর চিম্‌নি দিয়া বায়ু আসিয়া সেই শূন্যস্থান পূর্ণ করিতেছে, কিন্তু উহা আবার গরম হইয়া উপরে উঠিয়া যাইতেছে। এইরূপে বায়ুতে একটি পরিচলন স্রোত বহিতেছে। বায়ুর সঙ্গে ধুঁয়া আছে বলিয়া কোন্ পথে বায়ু আসিয়া কোন্ পথে বায়ু বাহিরে যাইতেছে, তাহা আমরা স্পষ্ট দেখিতেছি—ধুঁয়া না থাকিলেও ঐ একই পথে বাক্সের ভিতর বায়ুচলাচল করিত।

বায়বীয় বস্তুতে পরিচলনের পরীক্ষা

বিকিরণের ধারণা—বাহিরে রৌদ্রে দাঁড়াইলে আমরা যে তাপ পাই তাহা সূর্য হইতে আসে। সূর্য হইতে পৃথিবীর দূরত্ব প্রায় নয় কোটি ত্রিশ লক্ষ মাইল এবং পৃথিবীর উপর মাত্র কয়েক শত মাইল পর্যন্ত বায়ুর অস্তিত্ব আছে। সুতরাং সূর্য হইতে পৃথিবীতে যে তাপ আসে তাহা কোন পদার্থের ভিতর দিয়া অথবা কোন বস্তুর সাহায্যে আসে না। সুতরাং কোন পার্থিব বস্তুর সাহায্য ব্যতীত তাপ বিকিরণ হয়।

বিকিরণ : কোন পার্থিব বস্তুর সাহায্য ব্যতীত এক স্থান হইতে তাপের অন্যত্র সঞ্চালনকে বিকিরণ বলে।

কিন্তু কেবল সূর্য হইতেই যে তাপ বিকিরিত হয় তাহা নহে, যে কোন উষ্ণ বস্তু পরিচলন ও পরিবহণে তাপ বর্জন করুক কি নাই করুক, তাপ বিকিরণ করিবেই। সেই কারণে শূন্যের মধ্যে তাপের অত্যন্ত কুপরিবাহী উলের সুতা দ্বারা কোন উষ্ণ বস্তু ঝুলাইয়া রাখিলেও ক্রমে উহা ঠাণ্ডা হইয়া যাইবে।

দেখা গিয়াছে যে, যে বস্তু যত সাদা এবং মসৃণ সেই বস্তু উষ্ণ অবস্থায় তত কম তাপ বিকিরণ করে এবং ঠাণ্ডা অবস্থায় তত কম তাপ শোষণ করে। পক্ষান্তরে যে বস্তু যত কালো এবং অমসৃণ তাহা ঠাণ্ডা অবস্থায় তত বেশী তাপ শোষণ করে এবং উষ্ণ অবস্থায় তত বেশী তাপ বিকিরণ করে।

পরিবহণ, পরিচলন ও বিকিরণের মধ্যে পার্থক্য :

• পরিবহণে পরিবাহী বস্তুর কোন অংশ স্থানচ্যুত হয় না। প্রত্যেক অংশ নিজ

নিজ স্থানে থাকিয়া এক দিকের অধিক উত্তপ্ত অংশ হইতে অপর দিকের অপেক্ষাকৃত কম উত্তপ্ত অংশে তাপ পাঠায়।

পরিচলনে পরিচালক বস্তুর উত্তপ্ত অংশ স্থানচ্যুত হইয়া অপেক্ষাকৃত কম উত্তপ্ত অংশে গিয়া ঐ অংশকে উত্তপ্ত করে।

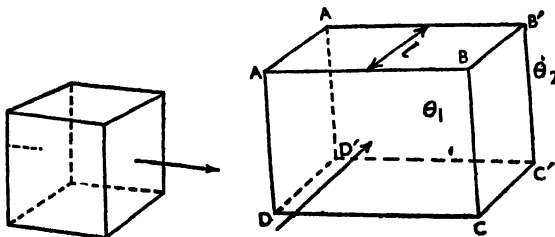
বিকিরণে কোন পদার্থের সাহায্য প্রয়োজন হয় না।

তাপের পরিবহণ ও পরিচলনের জন্য যথেষ্ট সময়ের প্রয়োজন, কিন্তু বিকিরিত তাপ অত্যন্ত দ্রুত একস্থান হইতে অন্যস্থানে যাইতে পারে।

পরিবাহী বস্তুর ভিতর দিয়া সব দিকেই তাপ পরিবাহিত হইতে পারে, পরিচলনে তাপ সর্বদা উপর দিকে যায় আর বিকিরণে তাপের উৎস হইতে তাপ সকল দিকে সরলরেখাক্রমে চলে।

4.11. পরিবাহিত তাপের পরিমাণ :

মনে কর একটি পরিবাহী বস্তুর চৌপলাকৃতি অংশ আছে যাহার দুই বিপরীত পৃষ্ঠের প্রত্যেক পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল A এবং ঐ দুই বিপরীত পৃষ্ঠের মধ্যের দূরত্ব l।

যদি উহাদের একটি পৃষ্ঠ θ_1 °C এবং অন্য পৃষ্ঠ θ_2°C উষ্ণতায় রাখা হয় তবে দেখা যায় যে, এক পৃষ্ঠ হইতে অপর পৃষ্ঠে যে তাপ পরিবাহিত হয় তাহার মান কয়েকটি রাশির সহিত সমানুপাতিক হয়।

পরিবহণের গুণাঙ্ক ব্যাখ্যা

Q ঐ তাপ হইলে,

$Q \propto A$ যে ক্ষেত্রের লম্বভাবে তাপ চলিতেছে উহার ক্ষেত্রফল

$\propto (\theta_1 - \theta_2)$ দুই বিপরীত পৃষ্ঠের উষ্ণতার পার্থক্য

$\propto t$ সময় (সেকেণ্ড)

$\propto \frac{1}{l}$ l দুই বিপরীত পৃষ্ঠের মধ্যে দূরত্ব

$Q \propto \frac{A(\theta_1 - \theta_2)t}{}$

অথবা $Q=\frac{K.A\ (\theta_1-\theta_2)t}{l}$; K অনুপাতের ধ্রুবক বা পরিবহণের গুণাঙ্ক

এখন, $A=1, (\theta_1-\theta_2)=1,\ l=1, t=1$ হইলে $Q=K$.

পরিবহণের গুণাঙ্ক : কোন বস্তুর এক সেন্টিমিটার দৈর্ঘ্য, প্রস্থ ও উচ্চতা সম্বলিত একটি ঘনকের এক পৃষ্ঠ যদি বিপরীত পৃষ্ঠের তুলনায় 1°C বেশী উষ্ণ রাখা হয় তবে ঐ ঘনকের ঐ দুই বিপরীত পৃষ্ঠের উষ্ণতর পৃষ্ঠ হইতে ঘনকের মধ্য দিয়া কম উষ্ণ পৃষ্ঠে প্রতি সেকেণ্ডে যত তাপ (লম্বভাবে) পরিবাহিত হইয়া আসে তাহার পরিমাণকে ঐ বস্তুর **পরিবহণের গুণাঙ্ক (Co-efficient of thermal Conductivity)** বলে।

বস্তুর পরিবহণের গুণাঙ্ক জানিলে বস্তুর পরিবাহিতা জানা যায়, অথবা ঐ বস্তুর ভিতর দিয়া কত তাপ পরিবাহিত হয় তাহা হিসাব করা যায়।

উদাহরণ : C.G.S. প্রণালীতে কাঁচের পরিবহণের গুণাঙ্ক '002। এক বর্গ মিটার ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট '2 সে. মি. পুরু কাঁচের জানালার ভিতরের উষ্ণতা 59°C এবং বাহিরের উষ্ণতা −5°C হইলে ঘণ্টায় কত তাপ উহা হইতে পরিবাহিত হইতেছে ?

এখানে $A=1$ বর্গ মিটার
$=100\times100$ বর্গ সে. মি.
$=10^4$ বর্গ সে. মি.

$(\theta_1-\theta_2)=\{59^\circ-(-5^\circ)\}=64^\circ C.$

$t=60\times60$ সেকেণ্ড

$K='002\ ;\ l='2$ সে.মি.

$$\therefore\quad Q=\frac{K.A(\theta_1-\theta_2)\times t}{l}$$

$$=\frac{'002\times10^4\times64\times60\times60}{'2}\ \text{ক্যালরি}$$

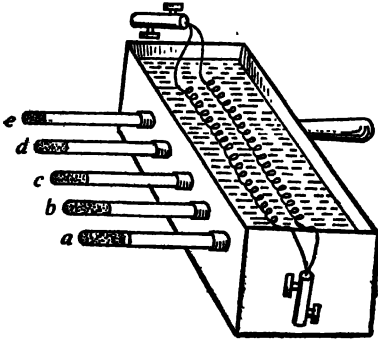
$$=\frac{'2\times10^4\times64\times6\times6}{'2}\ \text{ক্যালরি}$$

$$=36\times64\times10^4\ \text{ক্যালরি}$$

$$=2304\times10^4\ \text{ক্যালরি}।$$

বিভিন্ন বস্তুর পরিবাহিতার তুলনা (Ingen Hausz's Experiment) :

পরীক্ষা : একটি টিনের বাক্সের উপরটা খোলা। উহার দৈর্ঘ্যের পাশের দিকের গায়ে চারিটি ছিদ্র আছে। ঐ ছিদ্রগুলি কর্ক দ্বারা বন্ধ এবং প্রত্যেকে কর্কের ভিতর দিয়া সমান মোটা ও সমান লম্বা বিভিন্ন পদার্থের চারিটি দণ্ড প্রবেশ করানো আছে। সাধারণত তামা, লোহা, এ্যালুমিনিয়াম ও কাঠ—এই চার জিনিসের চারিটি দণ্ড লওয়া হইয়া থাকে। দণ্ডগুলির সমান সমান অংশ বাক্সের ভিতর ঢুকানো আছে। উহাদের

বাহিরের অংশগুলির গায়ে যথাসম্ভব সমানভাবে গলানো মোম লাগাইয়া ঠাণ্ডা করিয়া রাখ। ইহাতে উহাদের উপর মোমের এক প্রলেপ লাগিবে।

বিভিন্ন বস্তুর তাপ পরিবাহিতা বিভিন্ন

এইবার ইলেক্‌ট্রিক তার ঐ জলে ডুবাইয়া তারে বিদ্যুৎপ্রবাহ চালাইয়া পাত্রটির জল ফুটন্ত অবস্থায় রাখ। দেখা যাইবে যে বিভিন্ন দণ্ড হইতে বিভিন্ন সময়ে মোম গলিয়া পড়িতেছে। উহা দেখিয়া পরিবাহিতার ধারণা করিলে ভুল হইবে। অনেকক্ষণ অপেক্ষা করিয়া শেষ পর্যন্ত কোন্ দণ্ডে মোম কতদূর পর্যন্ত গলে লক্ষ্য কর। **শেষ পর্যন্ত** যে পদার্থের দণ্ডে মোম যত বেশী দূর পর্যন্ত গলিয়াছে সেই পদার্থের পরিবাহিতা তত বেশী। কারণ, সেই পদার্থ দণ্ডের ভিতর দিয়া তত বেশী তাপ পরিবহণ করিয়াছে বলিয়াই বেশী মোম গলিয়াছে।

যদি বিভিন্ন দণ্ডগুলির পরিবহণের গুণাঙ্ক K_1, K_2, K_3, K_4 হয় এবং ঐ দণ্ডগুলির উপর যদি l_1, l_2, l_3, l_4 পর্যন্ত মোম গলিয়া থাকে তবে তত্ত্বীয় প্রমাণে এবং পরীক্ষায় দেখা যায় যে

$$K_1 : K_2 : K_3 : K_4 = l_1^2 : l_2^2 : l_3^2 : l_4^2$$

অর্থাৎ, ঐ পরীক্ষায় **দণ্ডগুলির উপরের মোম গলা বন্ধ হইলে** যে বস্তুর দণ্ডে মোম যত দৈর্ঘ্য পর্যন্ত গলিয়াছে তাহার পরিবহণের গুণাঙ্ক ঐ দৈর্ঘ্যের বর্গের সমানুপাতিক।

যদি দুইটি দণ্ডের প্রথম দণ্ডে যতদূর পর্যন্ত মোম গলিয়াছে, দ্বিতীয় দণ্ডে তাহার তুলনায় 9 গুণ দূর পর্যন্ত মোম গলিয়াছে দেখা যায়, তবে দ্বিতীয় দণ্ডের বস্তুর পরিবহণের গুণাঙ্ক প্রথম দণ্ডের বস্তুর তুলনায় 3 গুণ বেশী।

সাধারণ ধাতু মাত্রেরই তাপ পরিবাহিতা অন্যান্য বস্তু অপেক্ষা অধিক এবং সাধারণ ধাতুর মধ্যেও রূপার পরই তামার তাপ পরিবাহিতা সব চেয়ে বেশী।

বায়ু, কাঠ, কাগজ, তুলা, পশম প্রভৃতি কুপরিবাহী—অর্থাৎ, ইহাদের তাপ পরিবাহিতা খুবই কম।

4.12. গরম কাপড়

শীতকালে আমরা গরম কাপড়ের জামা ব্যবহার করি। কিন্তু 'গরম কাপড়' কথাটি বিজ্ঞানসম্মত নহে। একই বাক্সে রক্ষিত সুতার জামা অপেক্ষা উলের জামা উষ্ণতর

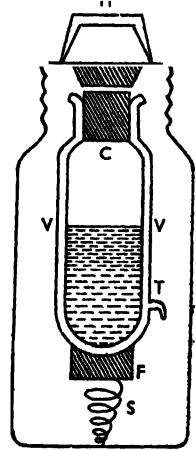
থাকে না। তথাপি উলের জামা ব্যবহার করিলে আমরা শীত নিবারণ করিতে পারি বলিয়াই উলের কাপড়কে আমরা 'গরম কাপড়' বলিয়া থাকি।

আমরা আমাদের শরীর হইতে তাপ হারাইলে শীত অনুভব করি আর বাহির হইতে তাপ পাইলে গরম অনুভব করি। আমরা যত দ্রুত তাপ হারাই, আমাদের তত বেশী শীত লাগে।

শীতকালে বায়ুর উষ্ণতা আমাদের শরীরের উষ্ণতা অপেক্ষা অনেক কম থাকে, সুতরাং আমরা দ্রুত তাপ হারাই, সেই কারণে বেশী শীত অনুভব করি। উলের জামা কুপরিবাহী, উহা গায়ে দিলে আমাদের শরীরের তাপ উলের ভিতর দিয়া সহজে পরিবাহিত হইয়া বাহিরে যাইতে পারে না, তাই আমরা দ্রুত তাপ হারাই না, ফলে শীত অনুভব করি না।

থার্মোফ্লাস্ক ঃ পরিবহণ, পরিচলন ও বিকিরণ এই তিন উপায়ে তাপ একস্থান হইতে অপেক্ষাকৃত কম উত্তপ্ত স্থানে গিয়া থাকে। থার্মোফ্লাস্ক এমনভাবে নির্মিত যে উহাতে ঐ তিন উপায়ের প্রত্যেক উপায়েই তাপ সঞ্চালন যথাসম্ভব কম হইয়া থাকে। সুতরাং উহার মধ্যে গরম বা ঠাণ্ডা বস্তু রাখিলে তাহা সহজে ঠাণ্ডা বা গরম হয় না।

থার্মোফ্লাস্কের ভিতরের গঠন
C—কর্ক ; V—বায়ুশূন্য দুই স্তর বিশিষ্ট পাত্র
F—ফেল্টের টুকরা ; S—স্প্রিং
T—বায়ু নিষ্কাশন করিয়া এই স্থানে নলের মুখ বন্ধ করা হইয়াছে

যে বোতলটিতে গরম জিনিস রাখা হয়, তাহা দুই স্তর-বিশিষ্ট একটি কাঁচের বোতল। উহাকে গরম কাপড়ের টুকরার উপর বসাইয়া রাখা হয়। কাঁচ কুপরিবাহী, সুতরাং উহার ভিতর দিয়া অত্যন্ত ধীরে ধীরে অতি সামান্য তাপই পরিবাহিত হইতে পারে।

বোতলের কাঁচের দুই স্তরের মধ্যের স্থান বায়ুশূন্য। সুতরাং বায়ুতে পরিচলন স্রোত দ্বারা ফ্লাস্কের মধ্যস্থ উত্তপ্ত জিনিসের তাপ ক্ষয় হয় না। বোতলের দুই স্তরের ভিতরের দিক আয়নার মত চক্‌চকে করিয়া দেওয়া থাকে সুতরাং বিকিরণ প্রণালীতেও ইহা হইতে বা ইহাতে খুব কম তাপ সঞ্চালিত হইতে পারে।

কিন্তু বিকিরণ ও পরিবহণ একেবারে বন্ধ হয় না বলিয়া বহু সময় পরে গরম জিনিস ঠাণ্ডা হয় এবং ঠাণ্ডা জিনিস গরম হইয়া যায়।

4.13. বায়ু চলাচল (Ventilation) ঃ

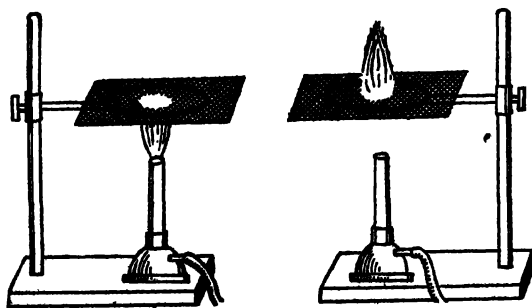
ধর, একটা পাকা বাড়ীর একটা কোঠায় শীতের রাত্রে দরজা-জানলা বন্ধ করিয়া

[illegible] আছে। [illegible] কার্বন ডাই-অক্সাইড উৎপন্ন হইবে। গরম নিঃশ্বাস-বায়ুর সহিত মিশ্রিত ঐ কার্বন ডাই-অক্সাইড উপর দিকে উঠিয়া যাইবে। কিন্তু যদি ঘরের উপর দিকে কোন ফোকর না থাকে তবে কার্বন ডাই-অক্সাইড মিশ্রিত গরম বায়ু কিছু পরে ঠাণ্ডা হইয়া আবার নীচে নামিয়া আসিবে। ঘরের লোকগুলি ঐ বায়ু ক্রমাগত বার বার টানিয়া উহা হইতে অধিকাংশ অক্সিজেন ক্ষয় করিয়া ফেলিবে। তখন প্রয়োজনীয় অক্সিজেনের অভাবে উহাদের শ্বাসকষ্ট উপস্থিত হইবে।

কিন্তু যদি ঘরের উপরে ফোকর থাকে এবং ঘরের অন্তত একটা জানলা খোলা থাকে তাহা হইলে গরম নিঃশ্বাস-বায়ু উপরে উঠিয়া ফোকর দিয়া বাহির হইয়া যাইবে এবং জানালা দিয়া বাহিরের মুক্ত বায়ু ঘরে প্রবেশ করিবে এবং শ্বাসকার্যের জন্য অক্সিজেনের অভাব ঘটিবে না। এই তত্ত্বের উপর নির্ভর করিয়াই ঘর নির্মাণ করিবার সময় ঘরে বায়ু সঞ্চালনের ব্যবস্থা হিসাবে উপরে ফোকর রাখা হয়।

ভেভির নিরাপদ বাতি (Davy's safety lamp) :

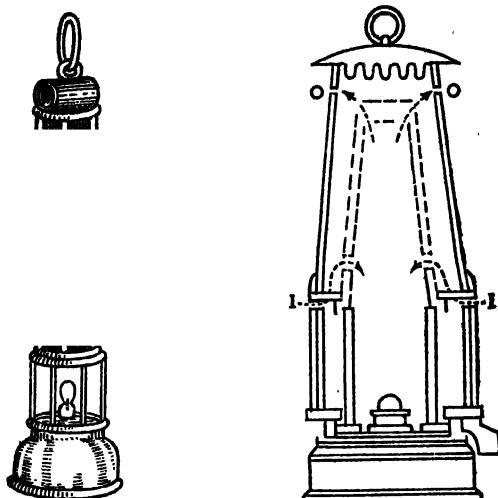
এই বাতি কয়লার খনিতে ব্যবহার করা হয়। এই বাতি যে মূলতত্ত্বের উপর নির্ভর করে তাহা বুঝিতে হইলে প্রথমে একটি পরীক্ষা করিয়া দেখ।

পরীক্ষা : একটি ত্রিপদীর উপর একখানা তারের জাল রাখ। নীচে একটি বুনসেন্-বাতি বসাও। গ্যাস ছাড়িয়া দিয়া জালের নীচে গ্যাসে আগুন ধরাইলে

পরিবহণের ফল

গ্যাস জালের নীচেই জ্বলিবে, সহজে উপর পর্যন্ত শিখা বিস্তৃত হইবে না—অনেকক্ষণ পরে হইতে পারে।

বাতি নিভাইয়া তারের জাল ঠাণ্ডা হইতে দাও। ঠাণ্ডা হইলে আবার গ্যাস ছাড়িয়া দিয়া জালের উপর প্রজ্বলিত দিয়াশলাই-কাঠি ধর। দেখিবে জালের উপরে বাতির শিখা জ্বলিতে থাকিবে নীচে জ্বলিবে না।

তারের জাল সুপরিবাহী বলিয়া শিখার তাপ তারের সর্বত্র ছড়াইয়া যায়, উপরের বা নীচের গ্যাসকে প্রয়োজনীয় উষ্ণতায়—অর্থাৎ, ignition point বা দহনাঙ্কে আনিতে পারে না বলিয়া গ্যাসে আগুন ধরে না।

এই তত্ত্বের উপর নির্ভর করিয়া Davy-র নিরাপদ বাতি প্রস্তুত হইয়াছে। ঐ বাতির

ডেভির নিরাপদ বাতি
বামে প্রাচীন রূপ ; ডাইনে আধুনিক রূপ
I—বায়ু প্রবেশের পথ ; O—বায়ু নির্গমনের পথ ; বিচ্ছিন্ন রেখায় তারজালি

চিমনির উপর দিক কাঁচ দ্বারা প্রস্তুত না করিয়া তামার জাল দিয়া প্রস্তুত করা হয়।

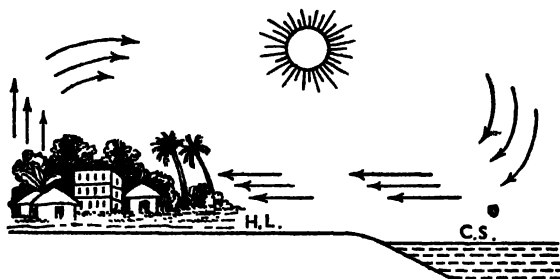
কয়লার খনিতে সহজ-দাহ্য নানা গ্যাস থাকে। সাধারণ লণ্ঠন তথায় লইয়া গেলে লণ্ঠনের তাপে গ্যাস গরম হইয়া দহনাঙ্কে (ignition point) পৌঁছে এবং আগুন ধরিয়া মুহূর্তে খনিতে দুর্ঘটনা ঘটিয়া যায়। ডেভির বাতি লইয়া খনির মধ্যে গেলে এই বিপদ হইতে পারে না। কারণ, ঐ বাতির দীপ শিখার তাপ তামার জাল সর্বত্র পরিবহণ করিয়া দেয় ; ফলে বাহিরের গ্যাস দহনাঙ্কে পৌঁছিতে পারে না। কিন্তু একটানা-খুব বেশী সময় বাতি জ্বালিলে উহা অসম্ভব নহে। সেই কারণে ঐ বাতিগুলিতে তৈল ধরিবার স্থান এমন হিসাব করিয়া দেওয়া থাকে যে তারের জাল অত্যধিক গরম হওয়ার আগেই যেন বাতি নিভিয়া যায়।

4.14. স্থল বায়ু ও সমুদ্র বায়ু (Land breeze and Sea breeze) :

সূর্যের তাপে মাটি গরম হয়, সেই মাটির সংস্পর্শে আসিয়া বায়ু গরম হইয়া উপরে

উঠিয়া যায়, সেই শূন্য স্থান পূর্ণ করিবার জন্য অপেক্ষাকৃত ঠাণ্ডা স্থান হইতে সেই স্থানে বায়ু আসে। ইহার ফলেই বায়ুতে প্রবাহ বহিয়া থাকে। বায়ুতে প্রবাহ না থাকিলে এত বায়ুর মধ্যে থাকিয়াও সম্ভবত আমরা বাঁচিতে পারিতাম না।

সমুদ্র বায়ু—সমুদ্রের তীরবর্তী স্থানে দিনের বেলা সমুদ্র হইতে স্থলের দিকে বায়ু বহিতে থাকে। ইহাকে সমুদ্র বায়ু বলে।

সূর্যোদয়ের পরে সমুদ্রের তীরবর্তী স্থানের মাটি এবং সমুদ্রের জল গরম হইতে থাকে। জলের আপেক্ষিক তাপ বেশী এবং মাটির আপেক্ষিক তাপ কম। সেই

সমুদ্র বায়ু ; C.S—ঠাণ্ডা সমুদ্র ; H.L—গরম মাটি

কারণে অল্প তাপেই মাটি গরম হইয়া যায় এবং উহার জন্য সময়ও অল্প লাগে। ক্রমে মাটি জলের তুলনায় অনেক বেশী উত্তপ্ত হয়। ঐ গরম মাটির সংস্পর্শে যে বায়ু থাকে তাহা গরম হইয়া উপরে উঠিয়া যায় ; তখন ঐ শূন্যস্থান পূরণ করিবার জন্য সমুদ্রের উপরের অপেক্ষাকৃত ঠাণ্ডা বায়ু বিকালবেলা তীরের দিকে আসিতে থাকে, ইহাই সমুদ্র বায়ু।

স্থল বায়ু—সূর্যাস্তের পর জল ও মাটি উভয়ই তাপ বর্জন করিয়া ঠাণ্ডা হইতে থাকে, কিন্তু জলের প্রতি গ্র্যামে মাটির তুলনায় বেশী তাপ থাকায় মাটি জলের চেয়ে

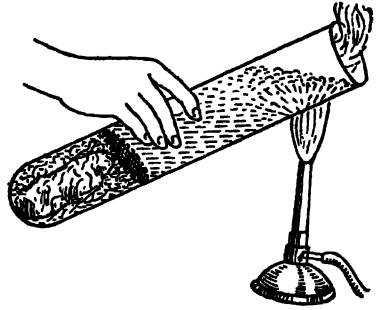
স্থল বায়ু ; H.S—গরম সমুদ্র ; C.L.—ঠাণ্ডা মাটি

তাড়াতাড়ি ঠাণ্ডা হইয়া যায়। ফলে সূর্যাস্তের কয়েক ঘণ্টা পরে সমুদ্রের উপর হইতে গরম বায়ু উপরে উঠিয়া যাইতে থাকে এবং সেই শূন্য স্থান পূর্ণ করিবার জন্য স্থল হইতে বায়ুস্রোত সমুদ্রের দিকে বহিতে থাকে। সাধারণত ঐ প্রক্রিয়া শেষরাত্রে আরম্ভ হয়। ইহাকে স্থলবায়ু বলে।

4.15. সুপরিবাহী ও কুপরিবাহী বস্তু লইয়া পরীক্ষা ঃ

জল কুপরিবাহী ঃ জল কুপরিবাহী, ইহা নিম্নলিখিত পরীক্ষা হইতে প্রমাণিত হয়।

একটি পরখ নলে কিছু জল লও, ঐ জলের মধ্যে কয়েক টুকরা বরফ ছাড়িয়া দাও। এখন একটুকরা তার-জালির সাহায্যে ভাসমান বরফকে জলের মধ্যে ঠেলিয়া দিয়া পরখ নলের বন্ধ প্রান্তের নিকটে লইয়া যাও। পরখ নলে জল যেন প্রায় খোলা মুখের নিকট পর্যন্ত থাকে।

এখন চিত্রে প্রদর্শিত রূপে পরখ নল কাত করিয়া উপরের জলে তাপ দাও। দেখ ঐ জল টগবগ করিয়া ফুটিতে থাকা অবস্থায়ও নীচে বরফ রহিয়াছে। সুতরাং জলের ভিতর দিয়া খুব সামান্য তাপই পরিবাহিত হইয়া নীচে গিয়াছে বুঝা যায়। অর্থাৎ, জল কুপরিবাহী।

জল তাপের কুপরিবাহী

তামা সুপারিবাহী ঃ ইহা Ingen Hausz's পরীক্ষা হইতে প্রমাণিত হয়। কিন্তু এসম্পর্কে এই পরীক্ষাটিও করা যাইতে পারে।

পরীক্ষা ঃ একটি সরু মোমবাতি জ্বালাও, উহার শিখা খুব বড় হইবে না। একটি মোটা তামার তারকে লম্বা স্প্রিং-এর ন্যায় কুণ্ডলী পাকাইয়া মোমবাতির শিখার মধ্যে ধর। দেখিবে শিখাটি নিভিয়া যাইবে, নতুবা একেবারে নিষ্প্রভ হইয়া যাইবে।

ইহার কারণ, মোমবাতির শিখা হইতে তামা প্রচুর তাপ পরিবহণ করিয়া লইয়া যাইবে। ইহার ফলে ঐ স্থানের উষ্ণতা মোমের দহনাঙ্কের নীচে চলিয়া যাইবে।

পাতলা পরিবাহীর মধ্য দিয়া বেশী তাপ পরিবাহিত হয় ঃ

খুব হাল্কা একখানা কাগজ দ্বারা একটি বাক্স প্রস্তুত করিয়া উহার মধ্যে অল্প জল লও একটি তার জালির উপর উহা বসাইয়া নীচে বুনসেন্-বাতি বা স্পিরিট বাতি ধর। কিছু সময় পরেই দেখা যাইবে যে জল ফুটিতেছে কিন্তু কাগজ পুড়িয়া যাইতেছে না।

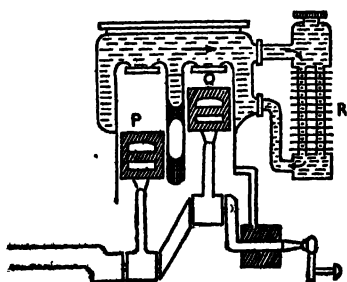
ইহার কারণ (i) খুব পাতলা পাতের ভিতর দিয়া বেশী তাপ পরিবাহিত হইতে
পরিবাহিত হইবে।
পারে। কারণ $Q \propto \frac{1}{l}$ অর্থাৎ l বা পরিবাহীর বেধ যত কম হইবে তাপ তত বেশী

(ii) পাত্রের জল পরিচলনে গরম হয় এবং জলের আপেক্ষিক তাপ বেশী। সেইজন্য কাগজ হইতে জল বেশী তাপ শোষণ করিয়া উপরে উঠিয়া যায় এবং সেই কারণে কাগজ গরম হইয়া উহার দহনাঙ্কে পৌঁছিতে পারে না।

মোটরগাড়ীর ইঞ্জিন ঠাণ্ডা করিবার ব্যবস্থা (Cooling system of automobile engines) :

মোটরগাড়ীর ইঞ্জিনের মধ্যস্থ সিলিণ্ডারে গ্যাসীয় বস্তুর দহনে প্রভূত তাপ উৎপন্ন হয়। ইহার ফলে ইঞ্জিনের অন্যান্য অংশ বেশী গরম হইয়া গেলে ইঞ্জিনের কাজ ব্যাহত হয়। সেইজন্য ইঞ্জিনের সিলিণ্ডারের চারিপাশের জ্যাকেট-নলে ঠাণ্ডা জল রাখা হয়; কিন্তু ঐ জলও গরম হইয়া স্টীম হইয়া যাইতে থাকে; কিছু সময় পর পর সেই কারণে উহার মধ্যে ঠাণ্ডা জল দিতে হয়। কিন্তু ঐ সময়ের ব্যবধান বাড়াইবার জন্য গাড়ীর সম্মুখের অংশে 'রেডিয়েটার' রাখা হয়।

মোটরের ইঞ্জিনের সিলিণ্ডারে যে তাপ উৎপন্ন হয় তাহা বায়ুমণ্ডলের বায়ুতে সঞ্চালিত করিবার জন্য চিত্রে প্রদর্শিত রূপে ব্যবস্থা করা হইয়া থাকে।

ইঞ্জিনের সিলিণ্ডার ঘিরিয়া জলের জ্যাকেট থাকে। ঐ জ্যাকেটের জলের সহিত রেডিয়েটার যুক্ত থাকে—উহা একটি নলবিশেষ—জ্যাকেট হইতে জল নির্গত হইয়া রেডিয়েটার ঘুরিয়া আবার জ্যাকেটে আসিয়া ঐ নল একটি সম্পূর্ণ চক্র প্রস্তুত করে।

মোটরগাড়ীর রেডিয়েটার; জলে পরিচলন-স্রোত তীর চিহ্ন দ্বারা নির্দেশ করা হইয়াছে

সিলিণ্ডারের সংস্পর্শে রক্ষিত জল সিলিণ্ডার হইতে তাপ লইয়া গরম হইয়া হাল্কা হইয়া রেডিয়েটারের উপরে গিয়া জমা হয়। সেই স্থান হইতে ঐ জল সরু নলের মধ্য দিয়া আসিবার সময় বায়ু-স্রোতে ঠাণ্ডা হয়। ঐ জল আবার গিয়া জ্যাকেটে পৌঁছে। রেডিয়েটারের পশ্চাতে একটি পাখা থাকে, উহার ঘূর্ণনে রেডিয়েটার সহজে ঠাণ্ডা হয়।

প্রশ্ন

1. যে সকল উপায়ে তাপ এক স্থান হইতে অন্যত্র সঞ্চালিত হয় উহাদের নাম কর ও সংজ্ঞা বল; ঐ প্রক্রিয়াগুলির মধ্যে পার্থক্য নির্দেশ কর।

(Name and define the modes of transference of heat and distinguish between them.)

2. বায়ুতে এবং জলে পরিচলন-স্রোত দেখাইবার জন্য উপযুক্ত পরীক্ষা বর্ণনা কর।

বায়ুতে পরিচলন-স্রোতের কয়েকটি ব্যবহারিক প্রয়োগের উল্লেখ করিয়া স্থল বায়ু বা সমুদ্র বায়ু ব্যাখ্যা কর।

(Describe suitable experiments to show convection currents in air and water. Mention a few practical applications of convection of air and explain land breeze or sea breeze.)

3. বিভিন্ন বস্তুর পরিবাহিতা বিভিন্ন। এই কথা প্রমাণ করিবার জন্য উপযুক্ত পরীক্ষা সাবধানে বর্ণনা কর।

(Describe carefully an experiment to prove that different materials have different conductivity.)

4. জল তাপের সুপরিবাহী নহে। ইহা কিভাবে সহজে দেখানো যায়?

(How can it be shown in a simple way that water is not a good conductor of heat ?)

5. (a) শীতকালে উলের জামা পরিলে শীত কম লাগে কেন?

(b) শীতের রাত্রে যে কাঠের হাতলযুক্ত দা বাহিরে পড়িয়াছিল পরদিন সকাল বেলা উহার কাঠে হাত দিলে যত ঠাণ্ডা বোধ হয়, লোহায় হাত দিলে তার চেয়ে বেশী ঠাণ্ডা বোধ হয় কেন?

(Why do we feel warm when we use woolen garment ? A cutter made of iron and provided with a wooden handle lay out side at night during the winter. In the following morning, the iron part appeared colder to the touch than the wooden part. Explain why.)

6. থার্মোফ্লাস্কের গঠন ও কার্যপ্রণালী বর্ণনা কর।

(Describe and explain the construction and principle of action of a thermoflask.)

7. ডেভির নিরাপদ বাতি কোথায় কি জন্য ব্যবহৃত হয়? ইহা দ্বারা কিভাবে বিপদ এড়ানো যায় ব্যাখ্যা কর।

(Where and why is Davy's safety lamp used ? Explain how the danger is avoided by its use.)

8. মোটরগাড়ীর ইঞ্জিন ঠাণ্ডা করিবার রেডিয়েটার বলিলে কি বুঝায়? ইহার কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর।

(What is meant by the Radiator of a motor car ? Explain its function.)

9. পরিবহণের গুণাঙ্কের সংজ্ঞা লিখ এবং উহা ব্যাখ্যা কর।

·2 সে.মি. পুরু তামার পাত দিয়া একটি ঘনকাকৃতি বাক্স প্রস্তুত করিয়া বরফে ডুবাইয়া রাখা হইয়াছে। ঐ ঘনকের এক দিকের দৈর্ঘ্য 10 সে. মি.। ঐ বাক্সকে 100°C উষ্ণতার জল দ্বারা পূর্ণ করিয়া উহাতে ক্রমাগত 100°C উষ্ণতার স্টীম পাঠাইতে থাকিলে 2 মিনিটে কত বরফ গলিবে? বাক্সের উপর দিকে ডালা নাই। তামার পরিবহণের গুণাঙ্ক, ·92 C. G. S. একক।

(Define thermal conductivity of a material and explain it.

A hollow cubical box is made of copper plates ·2 cm. thick. The length of each side of the cube on the outer side is 10 cm. The box is filled with water at 100°C and steam at 100°C is passed into it for two minutes. This is surrounded by ice on all sides ; there is no lid of the box. The thermal conductivity of copper is ·92 C. G. S. unit. Find the amount of ice melted in these two minutes.)

[*Ans.* 345 Kilograms]

Additional Numerical Problems

1. A copper square plate has its each side equal to 50 cm. and its thickness is 1·5 cm. How much heat will pass through it per minute if the temperature difference between the plates be maintained at 20°C ? Given thermal conductivity of copper is ·96 C. G. S. units. [*Ans.* 192×10^4 cal.]

2. If the copper plate in the above example forms the lower part of a wooden box kept on a large thick block of ice and steam is constantly passed into the water at 100°C in the box, how much ice will melt per minute ? [*Ans.* 120 kg. per minute]

3. On an April day in Calcutta the temperature shoots upto 108°F. The walls of a room are 10 inches thick and is built of a material whose thermal conductivity is ·003 C. G. S. units. The temperature inside the room is kept constant by spraying water, at 98°F. Find the heat transmitted inside the room from outside per sq. foot of the walls per hour. [*Ans.* 5852 cal]

[**Hints :** Make transformations in the C. G. S. system and then calculate.]

4. It is found that when two faces of an iron lamina of 10 cm. square and 2 cm. thick are kept at a difference of 50°C, the heat coming out of it per minute is just sufficient to melt 3 kg. of ice at 0°C. Find the conductivity of iron.

[*Ans.* ·16 C. G. S. unit]

Public Examination Questions

1. What are the different modes of propagation of heat.

Explain each of them with suitable illustrations.

Explain the working of Davy's safety lamp. [H. S. Comp. 1960]

2. What are the different processes by which nature tries to equalise the temperature of different bodies ?

Explain each process with a suitable example.

Give reasons for the following statements :—

(a) Water may be boiled in a paper box without charring the paper.

(b) It is hotter the same distance above a fire than in front of a fire. [H. S. Comp. 1961]

3. What are the different modes of propagation of heat ? Explain their difference by suitable illustrations.

How would you show that different solids have different conductivities ? [H. S. 1962]

4. Mention the ways in which a hot body loses heat. Give a brief explanation of each way and some examples.

Which will give you better protection against the cold, one thick shirt, or two of half the thickness, the material being the same ? Explain your answer. [C. U. I. Sc. 1944]

5. Mention the different ways in which a body loses heat. Give a brief explanation of each way, illustrating your answer with one example for each way.

Describe the construction of a thermoflask and state and explain the principle on which it works. [C. U. I. Sc. 1950]

6. How much heat is conducted in two hours through a pane of glass 15 sq. ft. in area and $\frac{3}{16}$ inch thick, if the surface temperature are 60°F and 10°F ? Thermal conductivity of glass is $1{\cdot}4 \times 10^{-3}$ cal./sec. cm. $^{\circ}$C. [*Ans.* $7{\cdot}71 \times 10^{5}$ cal.] [C. U. I. Sc. 1956]

7. A rod of metal of thermal conductivity 0·9 is 3·41 cms. long and 4 cms. in diameter. One of its ends is kept exposed to steam at 100°C and the other in contact with a block of ice at 0°C. How much ice will melt in the steady state per minute ? [*Ans.* 27 grams]
[C. U. I. Sc. 1959]

Samples of Questions for Informal Objective Test.

তাপ

(নির্দেশ সর্বত্র প্রথম অধ্যায়ের অনুরূপ)

1. Recall type.

(i) ডাক্তারী থার্মমিটারকে যে শ্রেণীভুক্ত করা যায় তাহা —

(ii) উষ্ণতা মাপিবার জন্য আমরা তাপের যে প্রভাব কাজে খাটাইয়া থাকি তাহা হইতেছে —

2. Completion type.

1. উষ্ণতা মাপিবার জন্য আমরা যে তরলে থার্মমিটার —
ডুবাইব, প্রথমে তাহার—(1) — (1)
একটু—(2) যাইবে ; কারণ ঐ — (2)
তরল হইতে কিছু—(3)—(5) — (3)
চলিয়া যাইবে। কিন্তু যদি থার্মমিটারের গঠন — (4)
এমন হয় যে খুব—(5)—(6) — (5)
তরল হইতে লইলেই উহার—(7) — (6)
বাড়িয়া যায় তবে আমরা যে উষ্ণতা নির্ণয় করিব — (7)
তাহা প্রদত্ত তরলের উষ্ণতা অপেক্ষা বিশেষ—(8) — (8)
হইবে না।

3. Alternate response type.

(a) 'Yes' or 'No' type.

(i) কোন বস্তুর জলসম এবং তাপগ্রাহিতা কি একই রাশি ?—

(ii) কঠিন হইতে গলিয়া তরল হইলে সকল বস্তুরই কি আয়তন বাড়ে ?

(iii) সাধারণ উষ্ণতায় জল বাষ্প হইবার সময়ও কি লীন তাপ শোষণ করে ?

(b) True or False type.

(i) দৈর্ঘ্য প্রসারণের গুণাঙ্ক, দৈর্ঘ্য মাপিবার একক পরিবর্তন করিলে পরিবর্তিত হয় না

(ii) আয়তন-প্রসারণের গুণাঙ্ক উষ্ণতা-মাপিবার স্কেল পরিবর্তন করিলে পরিবর্তিত হয় না

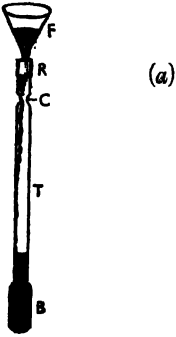
4. Association type.

কঠিন : গলনাঙ্ক :: তরল :
স্ফুটন : বাষ্পীভবন :: দ্রুত :

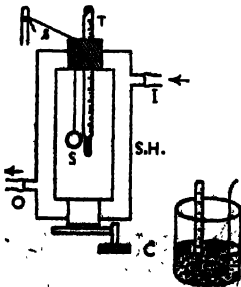
5. Multiple choice type.

1. কঠিন বস্তুর গলনাঙ্কের উষ্ণতায় উহাকে তাপ দিতে থাকিলেও কঠিনের উষ্ণতা বাড়ে না।
কারণ—
(a) ইহা "কোন বস্তুতে তাপ দিলে উহার উষ্ণতা বাড়ে" এই নিয়মের ব্যতিক্রমের একটি নিদর্শন।
(b) নির্দিষ্ট চাপে প্রত্যেক কঠিন বস্তুর গলনাঙ্ক নির্দিষ্ট আছে।
(c) বস্তুর অবস্থার পরিবর্তনের জন্য শক্তি আবশ্যক, ঐ তাপ সেই শক্তি জোগায়।

2. বায়ুর নির্দিষ্ট উষ্ণতা এবং বায়ুমণ্ডলের নির্দিষ্ট চাপে শিশিরাঙ্কের কোন নির্দিষ্ট মান নাই।
কারণ—
(a) বায়ুমণ্ডলের চাপ জলীয় বাষ্পের চাপ এবং শুষ্ক বায়ুর চাপের সমষ্টি। উভয় চাপ পরিবর্তিত হইলেও মোট চাপ স্থির থাকিতে পারে।
(b) বায়ুতে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ একই উষ্ণতায় সব সময় সমান না হইতে পারে।
(c) শিশিরাঙ্ক বায়ুমণ্ডলের চাপ এবং উষ্ণতার উপর নির্ভর করে না।

6. Diagrammatic type.

(a)

(a) উপরের চিত্রে কোন ভুল থাকিলে চিত্রের সেই স্থানে × চিহ্ন দাও এবং কোথায় কি কারণে ভুল হইয়াছে তাহা চিত্রের ডান পাশে লিখ।

অনুরূপ শুদ্ধ চিত্র দ্বারা কি প্রক্রিয়া বুঝানো হয়?

(b)

(b) পার্শ্বের চিত্রে একটি পরীক্ষার ব্যবস্থা দেখানো হইয়াছে। কি সম্পর্কে পরীক্ষা করা হইতেছে বলিয়া মনে কর?

চিত্রের বিভিন্ন অক্ষরের কোন্‌টি দ্বারা কি নির্দেশ করা হইতেছে এবং উহা দ্বারা কি কাজ হইতেছে বা হইবে যথাস্থানে লিখ।

পরীক্ষার নাম—

S—

T—

I—

s—

S.H.—

C—

O—

আলোক

প্রথম অধ্যায়

আলোকের সরলরেখায় গমন

প্রথম পাঠ

1.1. আলোক বিকিরিত শক্তি (Light is Radiant Energy) ঃ

আলোক ফটোগ্রাফের কাগজে পরিবর্তন ঘটাইতে পারে; সুতরাং আলোকও একপ্রকার শক্তি। কোন শক্তিই দেখা যায় না, সুতরাং আলোকও অদৃশ্য।

আলোক অদৃশ্য? কথাটা শুনিলে হঠাৎ বিশ্বাস করিতে ইচ্ছা হয় না। ভীষণ অন্ধকারে কিছুই দেখিতে পাইতেছি না, যেই প্রদীপ জ্বালিলাম অমনি সঙ্গে সঙ্গে সমস্তই দেখা গেল, তথাপি কি বলিতে হইবে যে আলোক অদৃশ্য?

হ্যাঁ, তথাপি আলোক অদৃশ্য। প্রদীপ জ্বালিলে আলোকশক্তি উৎপন্ন হইয়া অন্ধকার দূর করিল এবং আমরাও সব জিনিস দেখিতে পাইলাম সত্য, কিন্তু আলোক দেখিলাম না—আলোকের অভাবে আগে যে সকল জিনিস দেখিতে পাই নাই সেই সকল জিনিস এখন দেখিলাম।

রান্নাঘরের পূর্বদিকের দেওয়ালে ছিদ্র থাকিলে সকালবেলা উনানের ধুঁয়ায় যখন ঘর পূর্ণ থাকে তখন ঐ ছিদ্র দিয়া সূর্যের আলোক আসিলে আমরা আলোক-রশ্মি দেখিতে পাইলাম বলিয়া মনে করি। কিন্তু আমরা যাহা দেখি তাহা আলোক আসিবার পথ—যে পথে আলোক আসিয়াছে আমরা সেই পথ দেখিয়াছি—আলোক দেখি নাই, আলোকের পথে ধুঁয়ায় ভাসমান কণাগুলি আমরা দেখিয়াছি।

ঘরের মেঝের যে স্থানে সূর্যালোক পড়িয়াছে তাহা অন্য অংশ হইতে উজ্জ্বল দেখাইতেছে। হয়ত তোমরা কেহ কেহ বলিবে, ঐ তো, আলোক; কিন্তু আলোক কোথায়? উহা তো মেঝে, মেঝের অন্য অংশের তুলনায় ঐ অংশ আরো একটু উজ্জ্বল দেখাইতেছে মাত্র।

তাপশক্তি আমাদের ইন্দ্রিয় ত্বকে আসিয়া পৌঁছিলে আমাদের গরম লাগে, আমরা তাপ সম্পর্কে সচেতন হই; তেমনি আলোকশক্তি আমাদের অন্য ইন্দ্রিয় চোখে পড়িলে আমরা ঐ শক্তি সম্পর্কে সচেতন হই এবং যে বস্তু হইতে আলোক আসিয়া আমাদের চোখে পড়িয়াছে তাহা দেখিতে পাই।

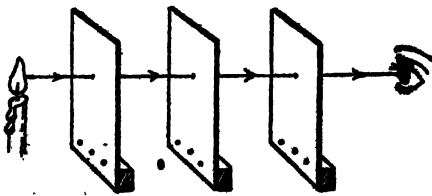
সুতরাং কোন বস্তু হইতে যে কোন উপায়ে আলোক আসিয়া আমাদের

চোখে পৌঁছিলেই আমরা সেই বস্তুকে (বা উহার প্রতিবিম্বকে) দেখিতে পাই, আলোক দেখি না।

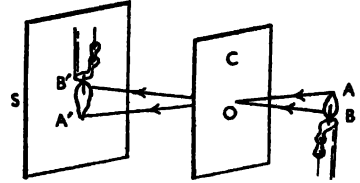
পরীক্ষা দ্বারাও এই কথার সত্যতা প্রমাণ করা যায়। একটি কাঁচের বাক্সকে বায়ুশূন্য করিলে উহাতে ধূলিকণা ভাসিয়া থাকিতে পারিবে না। তখন উহার ভিতর দিয়া পূর্ব হইতে পশ্চিম দিকে সূর্যালোক পাঠাইলে উহার সমকোণে, অর্থাৎ উত্তর বা দক্ষিণ দিক হইতে দেখিলে, বাক্সের মধ্যে কোন আলো দেখা যাইবে না।

আলোকের উৎস—মোমবাতির শিখা, বৈদ্যুতিক ভাস্বর তার, সূর্য, তারা প্রভৃতি **স্বপ্রভ পদার্থ** (**Luminous objects**); অর্থাৎ, ঐ বস্তুগুলির নিজের আলোক আছে। যখন ঐ বস্তুগুলি হইতে আলোক নির্গত হইয়া আমাদের চোখে পৌঁছে, তখন আমরা ঐ বস্তুগুলিকে দেখিতে পাই। কিন্তু বই, টেবিল, গাছপালা, গ্রহ প্রভৃতি যে সকল বস্তুর নিজের আলোক নাই উহাদিগকে **নিষ্প্রভ পদার্থ** (**Non-luminous objects**) বলে। ইহাদিগকে আমরা কিরূপে দেখিতেছি? অন্য উৎস হইতে আলোক প্রথমে ঐ সকল বস্তুর উপর পতিত হয়, ঐ আলোকের এক অংশ ঐ সকল বস্তু আমাদের চোখে ফেরত পাঠাইতেছে বলিয়াই আমরা ঐ সকল বস্তু দেখিতে পাই।

1.11. আলোকের সরলরেখায় গমন (Rectilinear propagation of Light) :

পরীক্ষা—তিনটি কার্ডবোর্ডের পর্দা লও। প্রত্যেকটিতে একই উচ্চতায় একটি করিয়া সূক্ষ্ম ছিদ্র কর। পর্দাগুলি পর পর বসাও। সূচের মধ্যে সুতা পরাইয়া তিনটি ছিদ্রের ভিতর দিয়া চালাইয়া ক্ল্যাম্পের সাহায্যে টান করিয়া বাঁধ। ছিদ্র তিনটি এক সরলরেখায় আছে বুঝা গেল। এখন সাবধানে সুতা সরাইয়া পর্দা তিনটির পশ্চাতে একটি মোমবাতি জ্বালাইয়া উহার শিখার মধ্যস্থান যাহাতে ছিদ্রের উচ্চতায় থাকে সেই ব্যবস্থা করিয়া বসাও। পর্দাগুলির অন্য দিকে চোখ রাখিয়া ছিদ্রগুলির ভিতর দিয়া মোমবাতিটি দেখ। যে কোন পর্দা পাশের দিকে সামান্য একটু সরাইয়া দিলেই আর মোমবাতি দেখা যাইবে না। এই পরীক্ষা হইতে বুঝা গেল যে, আলোক সরলরেখায় চলে।

আলোকের সরলরেখায় গমনের পরীক্ষা

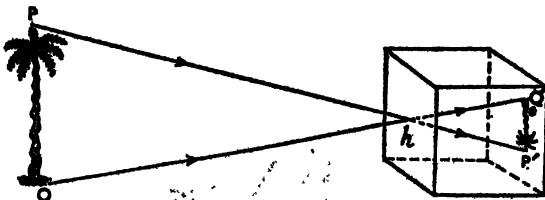
ইহার জন্য আরও একটি সুন্দর পরীক্ষা করা চলে।

পরীক্ষা—একখানা পোষ্টকার্ড বা ঐ প্রকার পর্দার মাঝখানে খুব সরু সূচ দ্বারা একটি ছিদ্র কর। রাত্রে ঘরের দরজা ও জানালা বন্ধ করিয়া ঘরে অন্য কোন আলো না রাখিয়া টেবিলের উপর একটি মোমবাতি জ্বালাইয়া বসাও। ইহার সম্মুখে কার্ডখানা ধর এবং কার্ডের যে দিকে মোমবাতি আছে তাহার বিপরীত দিকে একখানা সাদা কাগজ ধর। দেখিবে কাগজের উপর মোমবাতির একটা উল্টা প্রতিচ্ছবি গঠিত হইয়াছে।

আলোকের সরলরেখায় গমনের ফল
A B বস্তু, O সূক্ষ্ম ছিদ্র, S পর্দা,
A′B′—প্রতিচ্ছবি

ইহার কারণ মোমবাতির প্রত্যেক উজ্জ্বল বিন্দু হইতে আলোক চারিদিকে ছড়াইয়া যাইতেছে, কিন্তু কার্ডের সরু ছিদ্রটির ভিতর দিয়া বাতির প্রত্যেক বিন্দু হইতে সরলরেখায় আলোক গিয়া কার্ডের পশ্চাতের কাগজে পড়িতেছে।

কার্ডের ছিদ্র না থাকিলে উহার পশ্চাতের কাগজের পর্দার সকল স্থান অন্ধকার থাকিত ; ছিদ্র থাকায় সরলরেখাক্রমে পর্দার যে সকল বিন্দুতে আলোক আসিতেছে সেই সকল বিন্দু আলোকিত হওয়ায় বাতির অনুরূপ একটি প্রতিচ্ছবির মত বস্তু (pseudo-image) প্রস্তুত হইতেছে। আলোক বক্ররেখায় চলিলে পর্দার অন্য স্থানও আলোকিত হইত, কিন্তু তাহা হয় নাই। সুতরাং বুঝা গেল যে, আলোক সরলরেখায় চলে।

পিনহোল ক্যামেরা (Pin-hole Camera) :

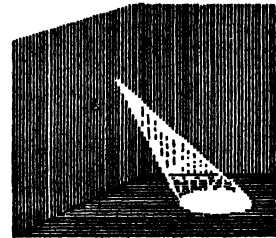
উপরের পরীক্ষার মূল তত্ত্বের উপর নির্ভর করিয়া ফটোগ্রাফ তুলিবার এক সহজ ব্যবস্থা করা যায়। একটা ছোট কাঠের বাক্সের ভিতরের দিকটা কালো কাগজ

পিনহোল ক্যামেরায় প্রতিচ্ছবি গঠন

দিয়া মুড়িয়া লইতে হইবে। বাক্সের একদিকের গায়ের উপর মাঝখানে একটি

ছিদ্র করিতে হইবে। ছিদ্রের বিপরীত দিকে বাক্সের ভিতরে ফটোগ্রাফারের কাগজ রাখিয়া বাক্সের মুখ কোন প্রাকৃতিক দৃশ্যের দিকে রাখিলে ভাল ফটোগ্রাফ উঠে।

পিনহোল ক্যামেরার ছিদ্র বড় করিলে কি হইবে?—ইহা বুঝিবার জন্য মনে কর ঐ ক্যামেরার সূক্ষ্ম ছিদ্রের (অথবা মোমবাতি ও কার্ডের পরীক্ষার কার্ডের সূক্ষ্ম ছিদ্রের) পাশে আরও একটি সূক্ষ্ম ছিদ্র করা হইল। ফলে একটি উল্টা প্রতিচ্ছবির স্থলে পাশাপাশি দুইটি প্রতিচ্ছবি উৎপন্ন হইবে। ছিদ্র যদি খুব পাশাপাশি হয় তবে প্রতিচ্ছবি দুইটি একটির উপর আর একটি এমনভাবে পড়িবে যে দুইটি প্রতিচ্ছবিরই এক পাশের সীমারেখা স্পষ্ট দেখা যাইবে না। এইভাবে পাশাপাশি বহু ছিদ্র থাকিলে আর কোন প্রতিচ্ছবিই স্পষ্ট দেখা যাইবে না শেষকালে ছিদ্র যে আকৃতির হইবে, পর্দায় সেই আকৃতির একটি উজ্জ্বল আলোকিত অংশ দেখা যাইবে।

পিনহোল ক্যামেরার পিনহোলের নিকটে আরও একটি ছিদ্র করিলে একটি মোমবাতির যেরূপ প্রতিচ্ছবি হইবে

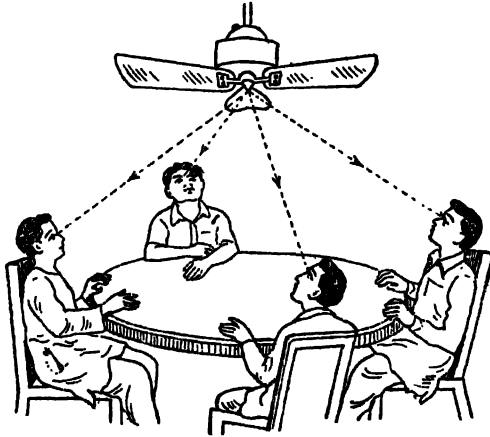
সূর্যের আলোক যখন রান্না ঘরের দেওয়ালের ছোট ছিদ্রের ভিতর দিয়া আসে তখন ভাসমান ধূলিকণার জন্য ঐ আলোক আসিবার পথ দেখা যায় ইহা আগেই উল্লেখ করা হইয়াছে। ঐ আলোক যে সরলরেখায় আসে তাহার সহিত সমকোণে একখানা কাগজ ধরিলে ঐ কাগজে একটি বৃত্তাকার আলোকিত অংশ দেখা যাইবে। ইহা প্রকৃতপক্ষে পিনহোল ক্যামেরা দ্বারা গঠিত প্রতিচ্ছবির অনুরূপ সূর্যের প্রতিচ্ছবি। যদি দেওয়ালের ছিদ্র হইতে আগত ঐ আলোক ঐভাবে কাগজ দ্বারা না আটকাইয়া মেঝেতে পড়িতে দেওয়া যায় তবে ঐ আলোকিত অংশ গোলাকার না হইয়া উপবৃত্তের আকৃতিবিশিষ্ট হইবে। সূর্যালোকের পথের সহিত কোন সমতল সমকোণে না থাকিলেই ঐ সমতলের উজ্জ্বল অংশ উপবৃত্তাকার হইবে।

সূর্যালোক খুব সূক্ষ্ম ছিদ্রের মধ্য দিয়া ধূলিপূর্ণ ঘরের মধ্যে আসিতেছে; মেঝের যে স্থান আলোকিত হইয়াছে উহা উপবৃত্তাকার (elliptical)

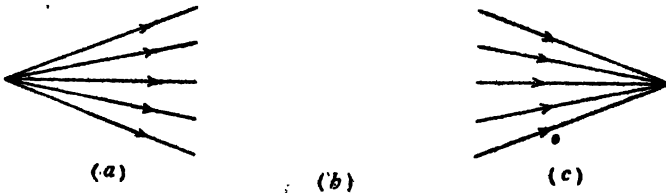
আলোক যদি অপেক্ষাকৃত বড় ছিদ্রের ভিতর দিয়া আসে তবে ঐ আলোক-গুচ্ছকে সমান্তরাল দেখা যাইবে, কিন্তু এই ক্ষেত্রেও আলোকের পথের সমকোণে

অবস্থিত কোন সমতলে আলোকিত অংশ বৃত্তাকার হইবে। ঐ আলোকগুচ্ছ তির্যক-ভাবে আসিয়া মাটিতে পড়িলে আলোকিত অংশ উপবৃত্তাকার দেখাইবে।

বৈশাখ ও জ্যৈষ্ঠ মাসে বড় বড় গাছ ঘন পাতায় সমাচ্ছন্ন থাকে। গাছের ছায়ায় দাঁড়াইলে দেখিবে ঐ সকল পাতার ফাঁক দিয়া যে সূর্যকিরণ আসিয়া মাটিতে পড়িতেছে তাহাতে মাটির এক উপবৃত্তাকার অংশ আলোকিত হইতেছে; সূর্য একেবারে মাথার উপরে থাকিলে ঐগুলির আকার গোল হইবে।

আলোকরশ্মি—কোন বিন্দু হইতে আলোক যে সরলরেখায় চলে তাহাকে **আলোকরশ্মি (ray of light)** বলে।

এক ঘরে বহু লোক নানা স্থানে বসিয়াও উপরের কোন উজ্জ্বল আলোকিত বিন্দু এক সঙ্গে দেখিতে পায়। আবার আমরা জানি আলোক সরলরেখায় চলে।

উপরের একটি উজ্জ্বল বিন্দু এক সঙ্গে সকলে দেখিতেছে

সুতরাং ঐ বিন্দু হইতে নিশ্চয়ই আলোক সকলদিকে সরলরেখাক্রমে ছড়াইয়া যায়। ইহার কয়েকটি আলোকরশ্মির কথা চিন্তা করিলে বুঝা যায় যে,

আলোকগুচ্ছ

(a) অপসারী আলোকগুচ্ছ (b) সমান্তরাল আলোকগুচ্ছ (c) অভিসারী আলোকগুচ্ছ

প্রত্যেক রশ্মি এক বিন্দু হইতে নির্গত হইয়া বিভিন্ন দিকে ছড়াইয়া যায়।

এইরূপ কয়েকটি রশ্মিকে একত্রে একটি **আলোকগুচ্ছ** (**pencil of rays**) বলা হয়।

কোন বিন্দু হইতে আলোকরশ্মি বিভিন্ন দিকে ছড়াইয়া গিয়া যে আলোকগুচ্ছ প্রস্তুত হয় তাহাকে **অপসারী** (**divergent**) আলোকগুচ্ছ বলা হয়।

যে বিন্দু হইতে অপসারী আলোকগুচ্ছ নির্গত হয় তাহা যদি বহুদূরে থাকে তবে ঐ অলোকগুচ্ছের রশ্মিগুলিকে আমরা পরস্পর **সমান্তরাল** (**parallel**) বলিয়া মনে করি। অর্থাৎ বহু দূরে অবস্থিত কোন বিন্দু হইতে সমান্তরাল আলোকগুচ্ছ বিকিরিত হয় বলা চলে।*

বক্রতলসমন্বিত আয়না, উত্তল লেন্স প্রভৃতির সাহায্যে আলোকের গতিপথ পরিবর্তন করিয়া কোন অপসারী আলোকগুচ্ছের প্রতিটি রশ্মিকে একই বিন্দুর দিকে ধাবিত করা চলে। ঐরূপে কোন আলোকগুচ্ছের প্রতিটি রশ্মি যদি একই বিন্দুর দিকে ধাবিত হয় তাহা হইলে এই আলোকগুচ্ছকে **অভিসারী** (**convergent**) আলোকগুচ্ছ বলা হয়।

মনে রাখা আবশ্যক যে, আমরা আলোকের কোন উৎস হইতে অপসারী আলোকগুচ্ছ পাইয়া থাকি ; ঐ উৎস খুব বেশী দূরে থাকিলে উহা হইতে সমান্তরাল গুচ্ছ পাইব। **কিন্তু কোন প্রকৃত বস্তু হইতে অবতল আয়না, উত্তল লেন্স প্রভৃতি আলোক সম্পর্কিত যন্ত্র বা সরঞ্জাম ব্যবহার না করিয়া আমরা অভিসারী আলোকগুচ্ছ পাইব না।**

আবার ঐ সকল সরঞ্জাম উপযুক্ত রূপে ব্যবহার করিয়া অপসারী আলোকগুচ্ছকে সমান্তরাল বা অভিসারী অথবা আরও অধিক অপসারী আলোকগুচ্ছে পরিণত করা অথবা যে কোন একপ্রকার আলোকরশ্মিকে অন্য প্রকার আলোকরশ্মিতে পরিণত করা সম্ভবপর।

স্বচ্ছ ও অস্বচ্ছ পদার্থ—যে সকল বস্তুর ভিতর দিয়া স্বচ্ছন্দে আলোক চলিতে পারে উহাদিগকে **স্বচ্ছ** (**transparent**) পদার্থ বলে। যেমন,—বায়ু, জল, কাঁচ প্রভৃতি। ঐগুলির অপর নাম **আলোকের মাধ্যম** (**optical medium**)।

ইট, কাঠ, ধাতুদ্রব্য, পুরু কাগজ প্রভৃতির ভিতর দিয়া আলোক চলিতে পারে না, উহাদিগকে **অস্বচ্ছ** (**opaque**) পদার্থ বলে। আবার তেল লাগানো কাগজ,

* দুইটি ওলন পাশাপাশি ঝুলাইলে উহাদের সুতাগুলি সমান্তরাল হয়। কিন্তু প্রকৃতপক্ষে প্রত্যেক সুতার দিক নীচের দিকে বাড়াইলে পৃথিবীর কেন্দ্রে গিয়া মিলিত হইবে অথচ আমরা উহাদিগকে সমান্তরাল ধরি। সেইরূপ বহু দূরের এক বিন্দু হইতে অপসারী আলোকগুচ্ছের অল্প অংশকে সমান্তরাল ধরিতে বাধা নাই।

যথা কাঁচ প্রভৃতি যে সকল পদার্থের ভিতর দিয়া অল্প মাত্রায় আলোক চলাচল করিতে পারে উহাদিগকে **অর্ধস্বচ্ছ (translucent)** পদার্থ বলে।

ছায়া (Shadow)—আলোক যতক্ষণ একই মাধ্যমের ভিতর দিয়া চলিতে থাকে ততক্ষণ উহার পথের দিক পরিবর্তন হয় না, অর্থাৎ আলোকরশ্মি একই সরলরেখায় চলিতে থাকে। কাজেই আলোকের পথে অস্বচ্ছ পদার্থ ধরিলে উহার পশ্চাতে আলোক পৌছিতে পারে না এবং ফলে উহার ছায়া গঠিত হয়।

রাত্রে ঘরে একটিমাত্র বাতি জ্বালাইয়া দেওয়াল এবং ঐ বাতির মাঝে হাত মেলিয়া দেওয়ালে ছায়াপাত কর। হাতের অবস্থান দেওয়াল হইতে একটু দূরে রাখিয়া ছায়াটি বিশেষভাবে লক্ষ্য কর। দেখিবে উহার মধ্যের অংশে প্রগাঢ় ছায়া বা **প্রচ্ছায়া (umbra)** এবং কিনারে ঈষৎ গাঢ় ছায়া বা **উপচ্ছায়া (penumbra)** গঠিত হইয়াছে।

সাধারণ আলোকের উৎস দ্বারা কোন অস্বচ্ছ বস্তুর ছায়াপাত করিলে ঐ ছায়ায় প্রচ্ছায়া ও উপচ্ছায়া এই দুই অংশ দেখা যায়। বিশেষ ব্যবস্থায় সমগ্র ছায়াকেই প্রচ্ছায়া বা উপচ্ছায়াতে পর্যবসিত করা চলে।

পরীক্ষা—রাত্রে অথবা অন্ধকার ঘরে একটি বাতির সম্মুখে একটি বড় গ্লোব রাখ এবং দূরে দেওয়ালে উহার ছায়া গঠন কর। দেখিবে ছায়ার কেন্দ্রে প্রচ্ছায়া এবং কিনারায় উপচ্ছায়া গঠিত হইয়াছে।

এইবার এক চোখ বন্ধ করিয়া প্রচ্ছায়ার মধ্যে অন্য চোখ স্থাপন করিলে তুমি আলোকের উৎসের কোন অংশই দেখিতে পাইবে না। যদি চোখ উপচ্ছায়ার মধ্যে স্থাপন কর তবে আলোকের উৎস সম্পূর্ণ দেখিতে পাইবে না, কিন্তু উহার এক অংশ দেখিতে পাইবেই।

সুতরাং প্রচ্ছায়া ও উপচ্ছায়ার **সংজ্ঞা** এইভাবে দেওয়া হয়—

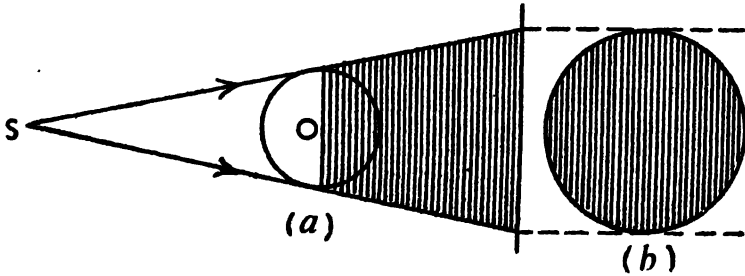
প্রচ্ছায়া—সাধারণত ছায়ার যে অংশ প্রগাঢ় ছায়া হয় সেই অংশকে প্রচ্ছায়া বলে। প্রকৃতপক্ষে প্রচ্ছায়াতে আলোকের উৎস হইতে একটুও আলোক আসিয়া পৌছায় না, কাজেই কোন দর্শকের চোখ প্রচ্ছায়াতে থাকিলে দর্শক আলোকের উৎস দেখিতে পায় না।

উপচ্ছায়া—সাধারণত ছায়ার যে অংশে অপেক্ষাকৃত কম গভীর ছায়াপাত হয় ঐ অংশকে উপচ্ছায়া বলে। প্রকৃতপক্ষে উপচ্ছায়াতে আলোকের উৎসের কোন কোন অংশ হইতে আলোক আসিয়া পৌছে, কিন্তু সকল অংশ হইতে আলোক আসিয়া পৌছিতে পারে না। সেই কারণে কোন দর্শকের চোখ উপচ্ছায়াতে থাকিলে দর্শক আলোকের উৎসের সকল অংশ দেখিতে পায় না।

বিভিন্ন প্রকার বস্তু দ্বারা গঠিত প্রচ্ছায়া ও উপচ্ছায়া—আলোকের উৎস ও অস্বচ্ছ বস্তুর আপেক্ষিক আয়তন ও উহাদের দূরত্ব, এবং যে পর্দায় ছায়া গঠিত হইবে উহা হইতে উৎস এবং অস্বচ্ছ বস্তুর দূরত্ব প্রভৃতির উপর প্রচ্ছায়া ও উপচ্ছায়া গঠন এবং উহাদের বিস্তৃতি নির্ভর করে। নিম্নের চিত্রে ঐগুলি দেখানো হইল :

(i) উৎস বিন্দুবৎ* ; অস্বচ্ছ বস্তু বর্তুলাকার (Spherical)—কাগজের সমতলে উহার ছেদ বৃত্তাকার হইবে। চিত্রে S বিন্দুবৎ উৎস, O গোলক অস্বচ্ছ।

অঙ্কন প্রণালী—S হইতে O বৃত্তের স্পর্শক অঙ্কন কর।

বিশেষত্ব—এস্থলে ছায়াতে দুই অংশ থাকিবে না; শুধু প্রচ্ছায়াই গঠিত হইবে, প্রচ্ছায়া গোলাকার হইবে। পর্দা যত দূরে সরানো হইবে, প্রচ্ছায়ার ক্ষেত্রফল তত বেশী হইবে। (*b*) নং চিত্রে পর্দায় যেরূপ ছায়া গঠিত হইবে তাহা দেখানো হইয়াছে।

ছায়া গঠন—(1) প্রচ্ছায়া

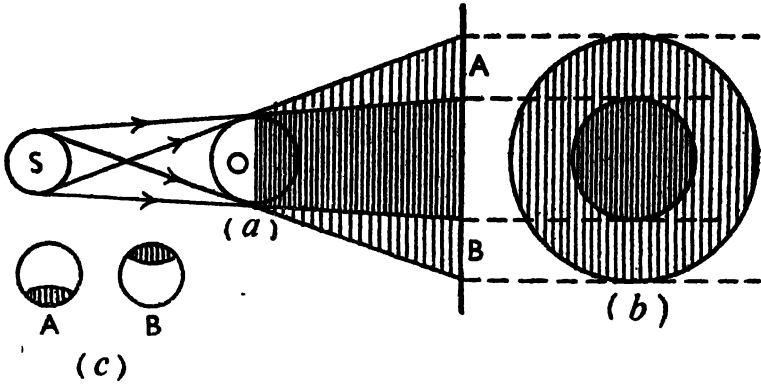
(*b*) পর্দায় যেরূপ ছায়া পড়িবে

(ii) অস্বচ্ছ বর্তুলাকার বস্তু অপেক্ষা বর্তুলাকার উৎস ক্ষুদ্রতর—

অঙ্কন প্রণালী—S গোল উৎস এবং O অস্বচ্ছ গোলক-এর মধ্যে যে চারিটি সাধারণ স্পর্শক আঁকা যায় তাহা আঁকিতে হইবে।

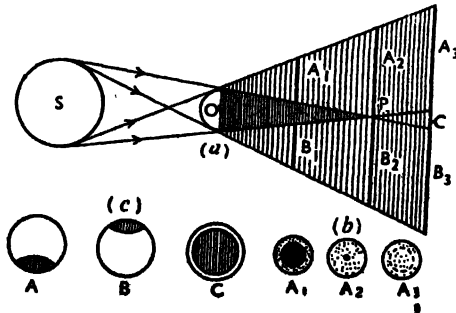
বিশেষত্ব—এস্থলে প্রচ্ছায়া ও উপচ্ছায়া গঠিত হইবে। পর্দা দূরে সরাইলে প্রচ্ছায়া ও উপচ্ছায়া অংশগুলি বড় হইতে থাকিবে। উপচ্ছায়ার A এবং B বিন্দুতে দর্শকের চোখ থাকিলে দর্শক আলোকের উৎস S-কে যেরূপ দেখিবে তাহা যথাক্রমে নীচের A এবং B চিত্রে দেখানো হইয়াছে। অর্থাৎ A-তে চোখ থাকিলে দর্শক

* একটি যথা কাঁচের বৈদ্যুতিক বাতিকে একটি সূক্ষ্ম ছিদ্রযুক্ত বার্নিশ কৌটা দ্বারা ঢাকিয়া লইলে উহা বিন্দুবৎ উৎসের কাজ করিবে।

বস্তুর উপরের অংশ দেখিবে নীচের অংশ দেখিবে না ; B-তে চোখ থাকিলে নীচের অংশ দেখিবে উপরের অংশ দেখিবে না।

প্রচ্ছায়া ও উপচ্ছায়া গঠন—(2)
চিত্রের বাম পাশের A, B—ছায়ার A এবং B অবস্থানে চোখ থাকিলে S উৎসকে যথাক্রমে যেরূপ দেখাইবে (b) পর্দায় যেরূপ ছায়া পড়িবে

(iii) অস্বচ্ছ বর্তুলাকার বস্তু অপেক্ষা বর্তুলাকার উৎস বৃহত্তর—

অঙ্কন প্রণালী—S এবং O এর সাধারণ স্পর্শকগুলি অঙ্কন করা হইয়াছে।

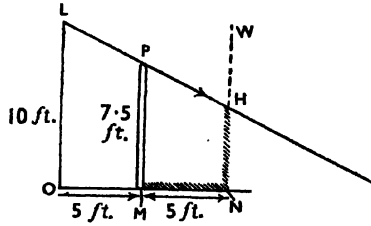
বিশেষত্ব—পর্দা A_1 অবস্থানে থাকিলে প্রচ্ছায়াকে ঘিরিয়া বড় উপচ্ছায়া গঠিত হইবে, A_2 অবস্থানে থাকিলে প্রচ্ছায়া বিন্দুতে পর্যবসিত হইবে, A_3 অবস্থানে থাকিলে সমস্তই উপচ্ছায়া হইবে। তবে কেন্দ্রের উপচ্ছায়াতে উৎসের মধ্যস্থান হইতে আলোক আসিবে না, উৎসের কিনারা হইতে আলোক পৌছিবে।

(a) প্রচ্ছায়া ও উপচ্ছায়া গঠন—(3) (b) পর্দার A_1, A_2, A_3 অবস্থানে যেরূপ ছায়া পড়িবে
(c) ছায়ার A_1, A_2, A_3-তে চোখ থাকিলে A চিত্রের ন্যায়, B_1 B_2 এবং B_3-তে চোখ থাকিলে B চিত্রের ন্যায় এবং C-তে চোখ থাকিলে C-চিত্রের ন্যায় S উৎসকে যেরূপ দেখাইবে

(b) চিত্রে পর্দার বিভিন্ন অবস্থায় কি প্রকার ছায়া গঠিত হইবে তাহা দেখানো হইয়াছে।

(c) চিত্রে A, B এবং C অবস্থান হইতে উৎসকে যেরূপ দেখাইবে তাহাই দেখানো হইয়াছে।

ছায়া গঠন সম্পর্কিত অঙ্ক :

(i) একটি ল্যাম্প পোস্টের 10 ফুট উঁচুতে একটি বৈদ্যুতিক বাতি জ্বলিতেছে। উহার সম্মুখে 5 ফুট দূরে একটি 7·5 ফুট উঁচু খুঁটি আছে এবং খুঁটি হইতে আরও 5 ফুট দূরে, ল্যাম্প পোস্ট এবং খুঁটির গোড়া সংযোগকারী সরলরেখার সমকোণে একটি অস্থায়ী কাঠের দেওয়াল বা উঁচু বেড়া আছে। রাত্রে বাতি জ্বালিলে দেওয়ালের কতটা উঁচু পর্যন্ত খুঁটির ছায়া পড়িবে? মাটিতে এবং কাঠের উপর খুঁটির যে ছায়া পড়িবে তাহার মোট দৈর্ঘ্য কত হইবে?

(ii) কাঠের বেড়া সরাইয়া লইলে মাটিতে যে ছায়া পড়িবে তাহার দৈর্ঘ্য কত হইবে?

মনে কর, OL ল্যাম্প পোস্ট =10 ফুট

MP খুঁটি =7·5 ফুট

OM ল্যাম্প পোস্ট হইতে খুঁটির দূরত্ব = 5 ফুট

MN খুঁটি এবং কাঠের বেড়ার দূরত্ব = 5 ফুট

NW কাঠের বেড়ার অবস্থান

আলোক সরলরেখায় চলে। সুতরাং LP যোগ করিয়া NW দেওয়াল পর্যন্ত বর্ধিত করিলে LP রেখা দেওয়ালকে H বিন্দুতে ছেদ করিবে। সুতরাং দেওয়ালে ছায়ার যে অংশ পড়িবে তাহার উচ্চতা হইবে NH।

দেওয়াল ঐ স্থানে না থাকিলে আলোকরশ্মি LP সরলরেখায় চলিয়া মাটিতে G বিন্দুতে পড়িত এবং ছায়ার দৈর্ঘ্য হইত MG.

এখন LOG এবং PMG এই দুইটি সদৃশ ত্রিভুজে

$$\frac{LO}{MP}=\frac{GO}{GM}$$

$$\frac{10}{7\cdot5}=\frac{GO}{GO-5}=\frac{x}{x-5} \qquad [GO=x \text{ ধরিয়া}]$$

$$\therefore \quad 10x-50=7\cdot5x$$

$$2\cdot5x=50 \qquad \therefore \quad x=20 \text{ ফুট}$$

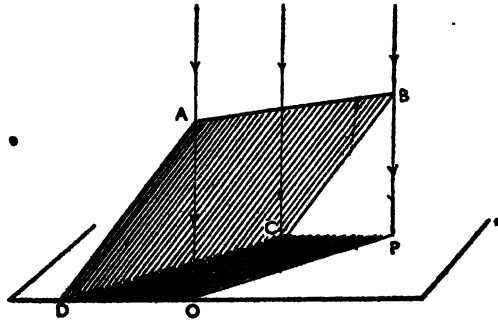
দেওয়া আছে ON=10 ফুট $\qquad \therefore$ GN=10 ফুট

আবার
$$\frac{LO}{HN}=\frac{GO}{GN}=\frac{20}{10}=2$$

$$\frac{10}{HN}=2 \qquad HN=5 \text{ ফুট।}$$

সুতরাং (i) দেওয়াল থাকিলে মাটিতে 5 ফুট লম্বা এবং দেওয়ালে 5 ফুট উঁচু ছায়া পড়িবে এবং ছায়ার মোট দৈর্ঘ্য 10 ফুট হইবে।

(ii) দেওয়াল না থাকিলে ছায়ার দৈর্ঘ্য হইবে MG=15 ফুট।

(2)—একখানি আয়তাকার পেস্ট বোর্ডের দৈর্ঘ্য 10 ইঞ্চি এবং প্রস্থ 6 ইঞ্চি। ঐ বোর্ড খানার দৈর্ঘ্যের একদিক টেবিলের উপর বসাইয়া টেবিলের সমতলের সহিত বোর্ডখানার সমতল 60° কোণ করিয়া কাত করিয়া রাখা হইল। যদি টেবিলের সঠিক উপর হইতে লম্বভাবে আলোক টেবিলে পড়ে তবে ঐ বোর্ডখানা টেবিলের উপর যে ছায়া ফেলিবে তাহার ক্ষেত্রফল কত হইবে?

মনে কর, ABCD বোর্ডখানা টেবিলের উপর 60° কোণে কাত করিয়া বসানো আছে। DC বোর্ড এবং টেবিলের মিলনরেখা এবং উহাই বোর্ডের দৈর্ঘ্য। AB DC-র বিপরীত বাহু।

A এবং B হইতে AO এবং BP টেবিলের উপর লম্বপাত করা হইল। তাহা হইলে, CDOP টেবিলের উপর বোর্ডখানার ছায়া।

$$\angle ADO=60^\circ$$

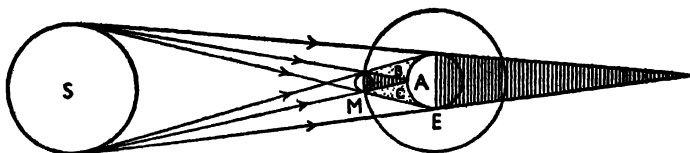
$\therefore$ $DO = AD \cos 60^\circ = \frac{1}{2} AD = \frac{1}{2} \times 6 = 3$ ইঞ্চি ;

$CD = 10$ ইঞ্চি ;

$\therefore$ ছায়ার ক্ষেত্রফল $= 10 \times 3 = 30$ বর্গ ইঞ্চি।

1.12. গ্রহণ (Eclipse) ঃ

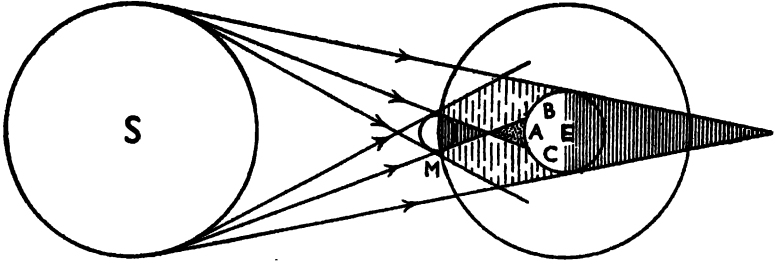
সূর্যই আমাদের আকাশে সর্বাপেক্ষা দীপ্তিময় জ্যোতিষ্ক। পৃথিবী সূর্যের চারিদিকে বৎসরে একবার ঘুরিয়া আসে। চন্দ্রকে $29\frac{1}{2}$ দিনে পৃথিবীর চারিদিকে একবার ঘুরিয়া আসিতে দেখা যায়। কিন্তু পৃথিবী ও চন্দ্র অস্বচ্ছ পদার্থ, এবং ইহাদের নিজস্ব আলোক নাই। এই কথাগুলি মনে রাখিলে সূর্যগ্রহণ ও চন্দ্রগ্রহণের মূল কারণ বুঝিতে পারা যায়।

সূর্যগ্রহণ—চন্দ্র পৃথিবীর চারিদিকে ঘুরিতেছে, কাজেই প্রতিমাসে দুইবার সূর্য, চন্দ্র ও পৃথিবীর কেন্দ্র প্রায় এক রেখাস্থ হয়। চন্দ্র যেদিন সূর্য ও পৃথিবীর মধ্যে আসে সেইদিন দিনের বেলা চন্দ্র আকাশে থাকে কিন্তু চন্দ্রের আলোকিত

আংশিক এবং পূর্ণ সূর্যগ্রহণ—S—সূর্য, M—চন্দ্র, E—পৃথিবী
পৃথিবীর B ও C স্থান হইতে আংশিক গ্রহণ এবং A অবস্থান হইতে পূর্ণ গ্রহণ দেখা যাইবে

দিক সূর্যের দিকে থাকে এবং অন্ধকার দিক পৃথিবীর দিকে ফিরিয়া থাকে। তাই আমরা চন্দ্রকে দেখিতে পাই না, ঐ দিনকে অমাবস্যা বলে। ঐ দিন চন্দ্র, সূর্য এবং পৃথিবীর মাঝে আসিয়া কখন কখন সূর্যকে আমাদের নিকট হইতে কিছু সময়ের জন্য আড়াল করিয়া রাখিতে পারে। ঐ ঘটনাকে আমরা সূর্যগ্রহণ বলি। সূর্যগ্রহণের সময় আমরা চন্দ্রের ছায়ার মধ্যে ঢুকিয়া যাই।

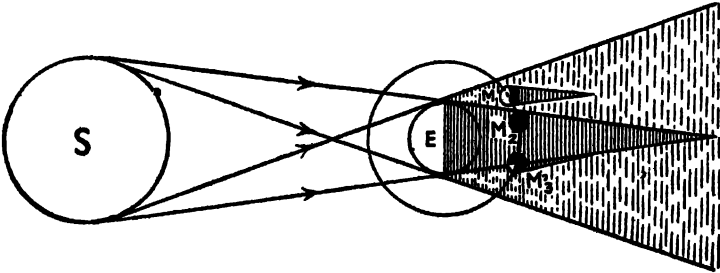
ঐ সময়ে চন্দ্রের প্রচ্ছায়া ও উপচ্ছায়া উভয়ই পৃথিবীতে পড়িতে পারে। যাহারা প্রচ্ছায়ার মধ্যে থাকে, তাহারা সূর্যকে মোটেই দেখিতে পায় না, তাহাদের পক্ষে ঐ সময় পূর্ণ সূর্যগ্রহণ হয়; আর যাহারা উপচ্ছায়ার মধ্যে থাকে তাহারা সূর্যের এক অংশ দেখে অপর অংশ দেখিতে পায় না—তাহাদের পক্ষে ঐ সময় আংশিক সূর্যগ্রহণ হয়।

কিন্তু বৎসরের সকল সময় সূর্য হইতে চন্দ্র ও পৃথিবীর দূরত্ব ঠিক থাকে না।

সেই কারণে কোন কোন সময় চন্দ্রের প্রচ্ছায়ার কোন অংশ পৃথিবীতে আসিয়া পৌছে না। ঐ সময়ে যাহারা প্রচ্ছায়ার ঠিক পশ্চাতে থাকে তাহারা সূর্যের মধ্যস্থান হইতে আলোক পায় না কিন্তু কিনারা হইতে আলোক পায়। সুতরাং উহারা

সূর্যের আংশিক এবং বলয় গ্রহণ। পৃথিবীর B এবং C অবস্থান হইতে আংশিক গ্রহণ এবং A অবস্থান হইতে বলয় গ্রহণ দেখা যাইবে

সূর্যের মধ্যস্থান দেখে না, কেবল বৃত্তাকার বলয়ের মত কিনারাটা উজ্জ্বল দেখে। ঐরূপ গ্রহণকে বলয় গ্রহণ বলে।

সুতরাং সূর্যের তিন প্রকার গ্রহণ হইতে পারে—পূর্ণ সূর্যগ্রহণ, আংশিক সূর্যগ্রহণ ও বলয় গ্রহণ।

চন্দ্রগ্রহণ—চন্দ্রগ্রহণ দেখা যায় পূর্ণিমার রাত্রে। ঐ সময় সূর্য, চন্দ্র ও পৃথিবী প্রায় একরেখায় থাকে; কিন্তু তখন পৃথিবী, সূর্য ও চন্দ্রের মাঝখানে থাকে। ফলে চন্দ্র পৃথিবীর ছায়ার মধ্যে ঢুকিয়া গেলে আমরা আর চন্দ্রকে দেখিতে পাই না, উহাই

চন্দ্রগ্রহণ—S—সূর্য, E—পৃথিবী, চন্দ্রের M_1 অবস্থানে চন্দ্র পৃথিবীর উপচ্ছায়ার মধ্যে থাকিবে এবং গ্রহণ হইবে না, M_2 অবস্থানে পূর্ণ গ্রহণ হইবে, M_2 অবস্থানে আংশিক গ্রহণ হইবে

চন্দ্রগ্রহণ। যদি চন্দ্রের সম্পূর্ণ অংশ পৃথিবীর প্রচ্ছায়ার মধ্যে ঢুকিয়া যায় তবে পূর্ণ চন্দ্রগ্রহণ হইবে, আর চন্দ্র আংশিকভাবে প্রচ্ছায়ার মধ্যে ঢুকিলে আংশিক চন্দ্রগ্রহণ হইবে।

চন্দ্র পৃথিবীর উপচ্ছায়ার মধ্যে ঢুকিলে চন্দ্রগ্রহণ হয় না। কারণ সূর্যের এক অংশ হইতে উহার উপর তখন আলোক পড়িতে পারে এবং আমরা প্রতিফলিত

আলোকে চন্দ্রকে দেখিতে পাই ; কিন্তু চন্দ্রকে তখন অপেক্ষাকৃত ম্লান দেখায়। খালি চোখে দেখিয়া চন্দ্রের উজ্জ্বলতা যে একটু কমিয়া যায় তাহা বুঝা যায় না।

চন্দ্রগ্রহণের সময় পৃথিবীর অতি দীর্ঘ প্রচ্ছায়া-শঙ্কুর মধ্যে চন্দ্র সম্পূর্ণ ঢুকিয়া পড়িলেও আরও স্থান থাকে। কারণ, চন্দ্র ঐ প্রচ্ছায়া-শঙ্কুর যে স্থানে প্রবেশ করে তাহার বৃত্তাকার অনুপ্রস্থচ্ছেদের ব্যাস চন্দ্রের ব্যাসের প্রায় তিন গুণ। সুতরাং চন্দ্রের বলয় গ্রহণ ঘটিতে পারে না।

পৃথিবী যে সমতলে থাকিয়া সূর্যকে প্রদক্ষিণ করে চন্দ্র ঠিক সেই একই সমতলে থাকিয়া যদি পৃথিবীকে প্রদক্ষিণ করিত, তাহা হইলে প্রতি পূর্ণিমায় চন্দ্রগ্রহণ এবং প্রতি অমাবস্যায় সূর্যগ্রহণ দেখা যাইত। কিন্তু ঐ দুই সমতল এক নহে, উহাদের পরস্পরের মধ্যে 5° কোণ উৎপন্ন হইয়াছে। ফলে অধিকাংশ পূর্ণিমা তিথিতেই চন্দ্র পৃথিবীর প্রচ্ছায়া-শঙ্কু এড়াইয়া যাইতে পারে এবং অধিকাংশ অমাবস্যা তিথিতে চন্দ্রের ছায়াও পৃথিবীর উপরে পড়ে না। সেই কারণে প্রতি পূর্ণিমায় চন্দ্রগ্রহণ এবং প্রতি অমাবস্যায় সূর্যগ্রহণ ঘটে না।

দ্রষ্টব্য—গ্রহণের চিত্রগুলিতে চন্দ্র, সূর্য, পৃথিবী এবং উহাদের দূরত্ব কোন স্কেলে দেখানো সম্ভবপর নহে। কোন্ স্থলে কিরূপ ছায়া হইবে তাহাই মাত্র দেখানো হইয়াছে।

বহু উপরে উড্ডীয়মান পাখী বা এরোপ্লেনের ছায়া মাটিতে পড়ে না কেন ?

প্রখর সূর্যালোকে এরোপ্লেন বা পাখী আকাশে অনেক উপর দিয়া যখন চলে তখন মাটিতে উহাদের ছায়া দেখা যায় না। ইহার কারণ এস্থলে এরোপ্লেন বা পাখীর প্রচ্ছায়া-শঙ্কু মাটিতে আসিয়া পৌছায় না। উপচ্ছায়া মাটিতে পৌছায় সত্য কিন্তু নিকটস্থ স্থানের বিভিন্ন বস্তু হইতে বিক্ষিপ্ত আলোক উপচ্ছায়ার অংশে আসিয়া পৌছায় বলিয়া ঐ স্থানে উপচ্ছায়াও দেখা যায় না।

1.13. আলোকের বেগ (Velocity of Light) ঃ

আলোকের বেগ এত বেশী যে আমাদের মনে হয় কোন স্বপ্রভ বা উজ্জ্বল নিষ্প্রভ পদার্থ আমাদের দৃষ্টিপথে আসা মাত্রই উহা আমাদের দৃষ্টিগোচর হয়। তাই আমরা মনে করি বহু দূরে বাতি জ্বালিলেই আমরা উহা দেখিতে পাই, সূর্য আকাশে উদিত হইতে না হইতেই আমরা উহাকে দেখিতে পাই। কিন্তু বৈজ্ঞানিকগণ পরীক্ষা দ্বারা স্থির করিয়াছেন যে আলোক প্রতি সেকেণ্ডে বায়ু বা শূন্যের ভিতর দিয়া 186000

মাইল বেগে চলে। জল, কাঁচ প্রভৃতির ভিতর দিয়া চলিবার কালে আলোর বেগ কিছু কমিয়া যায়।

সূর্য হইতে আমাদের চোখে আসিয়া আলোক পৌছে বলিয়াই সূর্যকে আমরা দেখি, কিন্তু আমরা যে মুহূর্তে সূর্যকে দেখিলাম তাহার 8 মিনিট 20 সেকেণ্ড পূর্বে সূর্য হইতে যে আলোক নির্গত হইয়াছিল সেই আলোক এই মুহূর্তে আসিয়া আমাদের চোখে পৌছিল। এ তো গেল সূর্যের কথা—আমাদের পৃথিবী এই সূর্যের পরিবারেরই অন্তর্গত।

কিন্তু আকাশের তারাগুলি এত দূরে আছে যে, কোন কোনটি হইতে আলোক পৃথিবীতে আসিতে বহু বৎসর লাগিয়া যায়। ধ্রুবতারাকে আজ রাত্রে তুমি যে আলোকে দেখিবে, সেই আলোক ধ্রুবতারা হইতে প্রায় 46·5 বৎসর আগে নির্গত হইয়া সরলরেখাক্রমে অবিরাম প্রতি সেকেণ্ডে 186000 মাইল বেগে চলিয়া আজ 46·5 বৎসর পূর্ণ হওয়ার পর তোমার চোখে আসিয়া পৌছিবে। ধ্রুবতারার দূরত্ব তবে কত? $46{\cdot}5 \times 365{\cdot}25 \times 24 \times 60 \times 60 \times 186000$ মাইল! এত মাইল লোকে কথায় প্রকাশ করিতে অসুবিধা বোধ করে। তাই বলা হয় ধ্রুবতারা 46·5 আলোক বৎসর দূরে আছে। অর্থাৎ, এক বৎসরে আলোক যত দূর যাইতে পারে সেই **দূরত্বকে আলোক বৎসর** বলা হয়। সুতরাং আলোক বৎসর বলিলে সময় বুঝায় না, বুঝায় দূরত্ব। সেই দূরত্ব $365{\cdot}25 \times 24 \times 60 \times 60 \times 186000$ মাইল অথবা 5868713600000 মাইল।

দ্রষ্টব্য—শূন্য স্থান এবং বায়ুর মধ্যে আলোকের বেগের সামান্য পার্থক্য আছে, কিন্তু সাধারণ কাজের জন্য তাহা ধরিবার প্রয়োজন নাই।

প্রশ্ন

1. আলোক অদৃশ্য। এই কথাটা কি সত্য? তোমার উত্তরের কারণ দেখাও।

(Light is invisible. Is the statement true? Give reasons for your answer.)

2. পিনহোল ক্যামেরার মূল তত্ত্ব কি? ঐ ক্যামেরার পিনহোল আরও বড় করিলে কি হইবে? কেন?

(What is the principle involved in the pin-hole camera? What will happen if the hole is enlarged? Why?)

3. খুব সরু ছিদ্র দিয়া সূর্যালোক ঘরের মেঝেতে আসিয়া পড়িলে মেঝেতে যে স্থান আলোকিত হয় তাহার আকৃতি কিরূপ ? ঐ আলোকিত অংশ কোন্ ক্ষেত্রে বৃত্তাকার হয় ?

(If sunlight comes through a very fine hole in a wall and falls on the floor, what will be the shape of the lighted patch ? When does it become circular ?)

4. আলোকগুচ্ছ কয় প্রকার ? স্বাভাবিকভাবে কোন প্রকৃত বস্তু হইতে অভিসারী আলোকগুচ্ছ নির্গত হইতে পারে কি ? তোমার উত্তরের কারণ দর্শাও।

(What are the kinds of pencils of light ? Can light from a real source come out in a convergent pencil ? Give reasons for your answer.)

5. প্রচ্ছায়া ও উপচ্ছায়ার সংজ্ঞা বল। এমন ব্যবস্থা উল্লেখ কর যাহা দ্বারা

(*a*) উপচ্ছায়াহীন ছায়া গঠিত হয়।

(*b*) প্রচ্ছায়াহীন ছায়া গঠিত হয়।

(*c*) প্রচ্ছায়া বিন্দুবৎ হয়।

(Define umbra and penumbra. Describe arrangements by which we can have

(*a*) a shadow without a penumbra ;

(*b*) a shadow without an umbra ;

(*c*) a shadow with a point-umbra.)

6. সূর্যগ্রহণ কয় প্রকার ও কি কি ? চিত্রের সাহায্যে সকল প্রকার সূর্যগ্রহণ ব্যাখ্যা কর।

(What are the kinds of solar eclipses ? Explain with aid of diagrams all kinds of solar eclipses.)

7. 'চন্দ্র পৃথিবীর প্রচ্ছায়ার না ঢুকিলে চন্দ্রগ্রহণ হয় না' এবং চন্দ্রের বলয় গ্রহণ হইতে পারে না কেন ব্যাখ্যা কর।

(Unless the moon enters the earth's umbral cone there can be no lunar eclipses and annular lunar eclipse cannot take place. Explain why.)

8. বায়ু বা শূন্য স্থানের মধ্যে আলোকের বেগ কত ? আলোক বৎসর বলিলে কি বুঝায় ?

(What is the velocity of light in air ? What is a light year ?)

Additional Numerical Problems

1. Find the area of the shadow formed on a screen at a distance of 4 feet from a point source when the centre of an opaque ball of radius 5 cm. is at half the normal distance between the source and the screen. [*Ans.* 314 sq. cm.]

2. A man 5 feet high stands at a distance of 24 ft. from an electric lamp post and casts a shadow 12 ft. in length. Find the height of the glowing wire from the ground and the distance of the tip of the shadow of his head from the bulb. [*Ans.* 15 ft. ; 39 ft.]

3. In the above example if the man advances towards the lamp post till the tip of the shadow of his head is only 18 ft. from the lamp post, find his distance from the post, the length of his shadow and the distance of the tip of the shadow of his head from the bulb. [*Ans.* 12 ft. ; 6 ft. ; 23·43 ft.]

Public Examination Questions

1. Explain with a diagram, the working of a pin-hole camera.

What is the effect of increasing the size of the hole ?

A man $5\frac{1}{2}$ ft. high is standing at a distance of 5 ft. from a street lamp, the flame of which is 9 ft. above the horizontal road way. Find the length of the man's shadow. [*Ans.* $7\frac{6}{7}$ feet] [H. S. 1960]

2. How are shadows formed ?

Explain with the aid of a diagram the formation of umbra and penumbra caused by an opaque spherical obstacle when light from a larger luminous sphere falls upon the obstacle.

Explain the condition in which the total eclipse of the moon occurs.

[H. S. 1961]

3 Distinguish between 'umbra' and 'penumbra'.

State the physical principles involved in the formation of shadows.

Indicate by means of clear diagrams the regions of umbra and penumbra, if any, due to a spherical obstacle by

(i) a point source of light ;

(ii) a luminous sphere smaller in size than the obstacle ;

(iii) a luminous sphere larger in size than the obstacle ;

(No description is necessary.) [H. S. Comp. 1960]

4. The path of light is rectilinear in a homogeneous medium. Describe two experiments in support of the statement.

The sun subtends the same angle as a half penny at a distance of 10 ft. Give a diagram showing the size and nature of the shadow of the half penny cast by the sun on a surface parallel to and at a distance of 5 ft. from the half penny.

[H. S. Comp.1961]

5. Explain with a diagram, the working of a pin-hole camera.

What conclusion do you draw from an experiment with a pin-hole camera ?

What is the effect, on the image formed, of increasing

(*a*) the size of the hole ;

(*b*) the distance of the source from the pin-hole ;

(*c*) the distance of the screen from the pin-hole ? Give reasons.

6. Describe an experiment which illustrates the fact that light travels in straight lines. [C. U. I. Sc. 1948.]

7. Describe a pin-hole camera.

Explain the effect of

(*a*) enlarging the hole ;

(b) doubling the distance between the hole and the sensitive screen.

[C. U. I. Sc. 1952]

8. Explain fully with the help of neat diagrams, the formation of total, partial and annular eclipses of the sun. Why is it that a solar eclipse does not occur at every new moon ? [C. U. I. Sc. 1951]

দ্বিতীয় অধ্যায়

আলোকের প্রতিফলন

প্রথম পাঠ

2.1. মসৃণ সমতলে আলোকের প্রতিফলন (Reflection at a Plane Surface) :

প্রতিফলন—সূর্যের আলোক ঘরের ভিতরে আসিতেছে না, তুমি একখানা আয়না লইয়া বাহিরে সূর্যালোকের মধ্যে গেলে এবং আয়নাখানা ঠিক মত ঘুরাইয়া ঘরের মধ্যে কোন এক স্থানে আলোক আনিয়া ফেলিলে। ইহাই প্রতিফলন।

আলোকের গতিপথকে ফিরাইয়া একই মাধ্যমে অন্য পথে চালানোকেই প্রতিফলন বলা যায়।

আলোকের গতিপথে যে বস্তু পড়িবে তাহা হইতে সাধারণত এক অংশ ফিরিয়া আগের মাধ্যমে চলিয়া আসিবে। সূর্যের আলোক হয়তো বারান্দায় আসিয়া পড়িতেছে, সেখান হইতে প্রতিফলিত হইয়া উহা ছাদের উপরে পড়িতেছে আবার ছাদ হইতে প্রতিফলিত হইয়া ঘরের দেওয়ালে পড়িতেছে। নানা দিক হইতে এইভাবে প্রতিফলিত হইয়া দেওয়ালে অথবা ঘরের অন্যান্য বস্তুতে আসিয়া আলোক পড়িতেছে; দেওয়াল বা ঐ সকল বস্তু হইতে আবার ফিরিয়া আসিয়া তোমার চোখে পড়িতেছে বলিয়াই তুমি দেওয়াল বা ঐ সকল বস্তু দেখিতেছ।

সাধারণত কোন বস্তুর কোন বিন্দুতে আলোক আপতিত হইলে তিনটি ব্যাপার ঘটে, যথা

উহার (i) এক অংশ প্রতিফলিত হয়;
(ii) এক অংশ শোষিত হয়; এবং
(iii) এক অংশ প্রতিসরিত হয়।

মনে রাখ, অস্বচ্ছ বস্তুর উপর আলোক পড়িলে উহার এক অংশ প্রতিফলিত হয় এবং অপর অংশ শোষিত হয়, স্বচ্ছ বস্তুর উপর আলোক পড়িলে উহার এক সামান্য অংশ প্রতিফলিত হয়, অধিকাংশ উহার ভিতর দিয়া চলিয়া যায় বা প্রতিসরিত হয় ও সামান্য এক অংশ শোষিত হয়।

দেওয়াল হইতে আলোক প্রতিফলিত হইতেছে, আয়না হইতেও আলোক

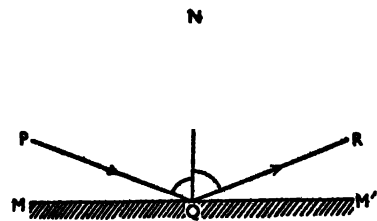
প্রতিফলিত হইতেছে ; কিন্তু আয়নার ভিতর প্রতিবিম্ব দেখা যায়, দেওয়ালে দেখা যায় না কেন ?

তাহার কারণ আয়নার পশ্চাৎ দিকের চক্‌চকে পারদ বা রূপার যে সমতল হইতে আলোক প্রধানত প্রতিফলিত হইতেছে সেই সমতল খুব মসৃণ, দেওয়াল মসৃণ নহে। হয়ত লক্ষ্য করিয়াছ যে ভাল পালিশ করা কাঠের টেবিলের মধ্যে অথবা ঝক্‌ঝকে মাজা রূপার বা অন্য বাসনের মধ্যেও প্রতিবিম্ব দেখা যায়।

সমতল খুব মসৃণ হইলে এক নির্দিষ্ট দিক হইতে আগত সকল আলোকরশ্মি এক নির্দিষ্ট নিয়মে অন্য এক নির্দিষ্ট দিকে প্রতিফলিত হইয়া থাকে এবং সেই কারণেই প্রতিবিম্ব গঠন সম্ভপর হয় ; কিন্তু সমতল অমসৃণ হইলে এক বিশিষ্ট দিক হইতে আগত সকল আলোকরশ্মি কোন এক নির্দিষ্ট দিকে প্রতিফলিত না হইয়া বিভিন্ন রশ্মি বিভিন্ন দিকে প্রতিফলিত হইয়া থাকে এবং সেই কারণে প্রতিবিম্ব গঠিত হইতে পারে না। এই কথাটা ভালরূপে বুঝিতে হইলে আগে সমতলে প্রতিফলনের নিয়ম জানা আবশ্যক।

2.11. আলোক প্রতিফলনের নিয়ম (Laws of Reflection)

মসৃণ সমতলে আলোক প্রতিফলনের দুইটি বিশেষ নিয়ম আছে। ঐ নিয়মগুলি বুঝিবার জন্য কয়েকটি শব্দের অর্থ জানা প্রয়োজন।

পাশের চিত্র দেখ। যে সরলরেখায় আলোক আসিয়া কোন বিন্দুতে পড়ে তাহাকে **আপতিত রশ্মি (incident ray)** বলে এবং যে সরলরেখায় ফিরিয়া যায় তাহাকে **প্রতিফলিত রশ্মি (reflected ray)** বলে। মসৃণ সমতলের যে বিন্দুতে আলোক পতিত হয় তাহাকে **আপাতন বিন্দু (point of incidence)** বলে এবং ঐ বিন্দুতে ঐ সমতলের উপর যে লম্ব টানা যায় তাহাকে ঐ সমতলের ঐ বিন্দুতে অঙ্কিত **অভিলম্ব (normal)** বলে। অভিলম্ব এবং আপতিত রশ্মির মধ্যবর্তী কোণকে **আপাতন কোণ (angle of incidence)** এবং অভিলম্ব ও প্রতিফলিত রশ্মির মধ্যবর্তী কোণকে **প্রতিফলন কোণ (angle of reflection)** বলে।

অলোকের প্রতিফলন

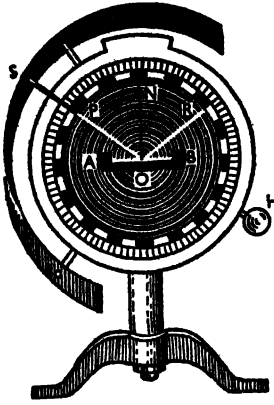
M M′ আয়না ; PQ আপতিত রশ্মি ; Q আপাতন বিন্দু ; QR প্রতিফলিত রশ্মি ; NQ, Q বিন্দুতে অঙ্কিত অভিলম্ব

প্রতিফলনের নিয়ম :

প্রথম নিয়ম—আপতিত রশ্মি, আপাতন বিন্দুতে অঙ্কিত অভিলম্ব এবং প্রতিফলিত রশ্মি একই সমতলে অবস্থান করে।

দ্বিতীয় নিয়ম—আপাতন কোণ সর্বদা প্রতিফলন কোণের সমান হয়।

নিয়মগুলির সত্যতা পরীক্ষা—

হার্টল-এর অপটিক্যাল ডিস্কের সাহায্যে **(by Hartle's Optical Disc) :** হার্টল-এর অপটিক্যাল ডিস্ক একখানা গোল রেকাবের মত জিনিস, উহাকে একটি স্ট্যাণ্ডের সাহায্যে খাড়াভাবে দাঁড় করানো যায়। ঐ ডিস্কের এক ব্যাসের দুই প্রান্তে 90°, 90° দাগ এবং উহার সমকোণে অবস্থিত অপর ব্যাসের দুই প্রান্তে 0°,0° দাগ আছে। 90°, 90° দাগের উপর দিয়া একখানা আয়তাকার সরু ভাল আয়না স্থাপন করিবার ব্যবস্থা আছে, ঐ আয়নার সমতল ডিস্কের সমতলের সহিত সমকোণে রাখিয়া আয়নাখানা স্থাপন করিতে হয়। ঐ অবস্থায় ডিস্কের 0°0°-দাগ (ON) আয়নার সহিত লম্বভাবে থাকে।

হার্টল-এর অপটিক্যাল ডিস্ক
AB—আয়না ;
SPO আপতিত রশ্মি
OR প্রতিফলিত রশ্মি
ON অভিলম্ব

ঐ ডিস্কের অর্ধেক ঘিরিয়া ডিস্কের বাহিরে একখানা বাঁকানো ধাতব পাত বসাইবার ব্যবস্থা আছে।*

ঐ পাতের প্রস্থের দিক ডিস্কের সমতলের সহিত লম্বভাবে স্থাপিত ; উহাতে প্রস্থের দিকের সমান্তরাল কয়েকটি স্লিট (slit) আছে। ঐ স্লিটগুলির যে কোন একটি খুলিয়া রাখিয়া অপরগুলি ইচ্ছা করিলে বন্ধ রাখা যায়।

বাহির হইতে সূর্যালোক প্রতিফলিত করিয়া আনিয়া ঐ স্লিটের ভিতর দিয়া ডিস্কের সমতলের গা ঘেঁষিয়া ফেলিতে হয়। ঐ আপতিত রশ্মি আয়নায় পড়িয়া প্রতিফলিত হইয়া ডিস্কের গা ঘেঁষিয়া চলে। ডিস্কের গায়ে আলোক পড়ে বলিয়া আপতিত রশ্মি ও প্রতিফলিত রশ্মির পথ দেখা যায়। স্পষ্ট দেখা যাইবে যে 0,0°-রেখার সহিত আপতিত রশ্মি যত ডিগ্রি কোণ করিয়াছে, প্রতিফলিত রশ্মিও ঠিক তত ডিগ্রি কোণ করিয়াছে।

ডিস্ক ঘুরাইয়া আপাতন কোণ বড়-ছোট করা যায় ; কিন্তু প্রত্যেক ক্ষেত্রে দেখা যাইবে যে আপাতন কোণ প্রতিফলন কোণের সহিত সমান হইবে।

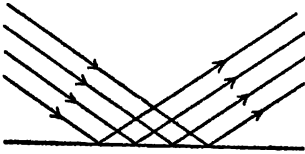
* ঐ পাত খানা দেখিতে ঠিক চালনীর বাঁকানো বেড়ের ন্যায়।

যদি আপাতন কোণ শূন্য হয়, তবে প্রতিফলন কোণও শূন্য হইবে ; অর্থাৎ কোন মসৃণ সমতলে আলোকরশ্মি লম্বভাবে পতিত হইলে উহা সেই রশ্মির পথেই প্রতিফলিত হইয়া আপতিত রশ্মির বিপরীত দিকে যাইবে।

ডিস্কের সমতলে আয়না ও ডিস্ক একই রেখায় মিলিত হইয়াছে। সেই রেখার যে বিন্দুতে 0°0°. দাগ আছে উহা আয়নার উপর ডিস্কের সমতলে লম্ব, আবার ডিস্কের সমতলেই আপতিত ও প্রতিফলিত রশ্মি আছে। সুতরাং ইহাতে প্রথম নিয়ম প্রমাণিত হইল।

স্পষ্টই বুঝা যায় যে প্রতিফলিত রশ্মির দিক ধরিয়া যদি আলোক আপতিত হয় তবে প্রতিফলনের পর উহা আগের আপতিত রশ্মির দিক ধরিয়া প্রতিফলিত হইবে। সুতরাং বলা হয় যে, **আলোকের পথ বিপরীতক্রমে চলিতে পারে (Light rays are reversible)।**

বিক্ষিপ্ত প্রতিফলন (Diffused reflection)—

নিম্নের প্রথম চিত্রে মসৃণ সমতলে সুষম প্রতিফলন (regular reflection) এবং দ্বিতীয় চিত্রে অমসৃণ সমতলে বিক্ষিপ্ত প্রতিফলন (diffused reflection) দেখানো

সুষম প্রতিফলন

বিষম প্রতিফলন

হইয়াছে। মনে কর প্রথম ক্ষেত্রে সূর্যালোক আসিয়া আয়নায় পড়িয়াছে এবং দ্বিতীয় ক্ষেত্রে সূর্যালোক আসিয়া দেওয়ালে পড়িয়াছে।

প্রথম ক্ষেত্রে সমতল মসৃণ হওয়ায় একটি সমান্তরাল আলোকগুচ্ছের প্রত্যেক রশ্মি ঐ সমতলে সমান সমান আপাতন কোণে আসিয়া পড়িতেছে এবং সেই কারণে প্রত্যেক প্রতিফলিত রশ্মি সমান সমান প্রতিফলন কোণ করিয়া প্রতিফলিত হইতেছে। ফলে এক নির্দিষ্ট দিক হইতে আপতিত রশ্মি অন্য এক নির্দিষ্ট দিকে প্রতিফলিত হইতেছে। ঐ প্রতিফলিত রশ্মি কোন দর্শকের চোখে পড়িলে সে *উৎসের (এস্থলে সূর্যের) প্রতিবিম্ব আয়নার মধ্যে দেখিতে পাইবে।*

দ্বিতীয় ক্ষেত্রে অমসৃণ সমতলের উঁচুনীচু স্থানগুলি বুঝিবার সুবিধার জন্য বৃহদাকার করিয়া আঁকা হইয়াছে। দেখা যাইবে প্রত্যেক আপাতন বিন্দুতে প্রতিফলনের নিয়ম মানিয়াই প্রতিফলন ঘটিতেছে ; কিন্তু বিভিন্ন [illegible]

বিভিন্ন দিকে কাত হইয়া থাকার ফলে প্রতিফলিত রশ্মিগুলি নির্দিষ্ট একদিকে না গিয়া নানাদিকে ছড়াইয়া পড়িতেছে ; সুতরাং সকল দিক হইতেই দেওয়ালের ঐ উজ্জ্বল অংশ দেখা যাইবে কিন্তু কোন দিক হইতেই সূর্যের প্রতিবিম্ব দেখা যাইবে না।

2.12. প্রতিবিম্ব (Image) :

পিনহোল ক্যামেরায় যে প্রতিচ্ছবি (pseudo image) দেখা যায়, তাহা আর প্রতিবিম্ব (image) পৃথক জিনিস।

জলপূর্ণ চৌবাচ্চার দেওয়ালের উপর মোমবাতি জ্বালাইয়া দূর হইতে দেখিলে একটি উল্টানো মোমবাতি জলের মধ্যেই জ্বলিতেছে দেখা যায়। পুকুরের পাশে বাড়ী বা গাছ থাকিলে জলের নীচে উল্টানো বাড়ী বা গাছ দেখা যায়। রাত্রে জাহাজে আলো থাকিলে এবং জাহাজ স্থির জলে ভাসিতে থাঁকিলে জলের নীচে উল্টানো জাহাজ দেখা যায়। আয়নায় আমরা নিজেদের চেহারা দেখি। ঐ সকল ক্ষেত্রে বস্তুর অনুরূপ বস্তুগুলিকে আমরা প্রতিবিম্ব বলি।

আবার মসৃণ অবতলে (Concave) মোমবাতির (বা অন্য কোন উৎসের) আলোক প্রতিফলিত করিয়া অথবা আতস কাঁচের ভিতর দিয়া প্রতিসরিত করিয়া দেওয়ালে অথবা ফাঁকা জায়গায় শূন্যের মধ্যেই মোমবাতির অনুরূপ উজ্জ্বল বস্তু বা প্রতিবিম্ব গঠন করা যায়।

প্রতিবিম্ব যে ভাবেই গঠিত হউক না কেন, বস্তুর প্রত্যেক বিন্দুর অনুরূপ আর একটি বিন্দু প্রতিবিম্বে দেখা যাইবেই, নতুবা সম্পূর্ণ প্রতিবিম্বটি বস্তুর অনুরূপ হইতে পারে না। আবার হয় প্রতিফলন অথবা প্রতিসরণ না ঘটিলে প্রতিবিম্ব গঠিত হয় না*। সেইজন্য **প্রতিবিম্বের সংজ্ঞা** এই ভাবে দেওয়া হয় :

প্রতিবিম্ব—যদি কোন বিন্দু হইতে অপসারী আলোকগুচ্ছ নির্গত হইয়া প্রতিফলিত বা প্রতিসরিত হইবার পর অন্য কোন বিন্দুতে কেন্দ্রীভূত হয় অথবা অন্য কোন বিন্দু হইতে আবার অপসারী আলোকগুচ্ছে নির্গত হইতেছে বলিয়া মনে হয়, তবে ঐ দ্বিতীয় বিন্দুকে প্রথম বিন্দুর প্রতিবিম্ব (image) বলে।

যদি আলোকরশ্মি দ্বিতীয় বিন্দুতে সত্য সত্যই কেন্দ্রীভূত হয় তবে ঐ প্রতিবিম্বকে **সদ্‌বিম্ব** (real image) বলে, আর যদি আলোকরশ্মি দ্বিতীয় বিন্দু হইতে অপসারী আলোকগুচ্ছে নির্গত হইতেছে বলিয়া মনে হয়, তবে ঐ প্রতিবিম্বকে **অসদ্‌বিম্ব** (virtual image) বা **অলীকবিম্ব** বলে।

* পিনহোল ক্যামেরার দ্বারা যে "প্রতিচ্ছবি" গঠিত হয় তাহাকে প্রতিবিম্ব বলা হয় নাই।

আয়নাতে আমরা যে প্রতিবিম্ব দেখি অথবা জলে যে প্রতিবিম্ব দেখি, ঐগুলি অসদ্‌বিম্ব; কারণ যে স্থানে আমরা প্রতিবিম্ব দেখি সেই স্থান হইতে প্রকৃতপক্ষে আলোক আসে না। দেওয়ালে সংলগ্ন আয়নার দুই ফুট সম্মুখে মোমবাতি থাকিলে আয়নার মধ্যে দুই ফুট ভিতরের দিকে প্রতিবিম্ব দেখা যাইবে। অবশ্যই বুঝা যায় যে, আয়না ও দেওয়াল ভেদ করিয়া আলোক দুই ফুট ভিতরে প্রবেশ করে নাই।

কিন্তু আগে অবতল আয়না বা আতস কাঁচ দ্বারা যে প্রতিবিম্ব প্রস্তুত করিবার কথা বলা হইয়াছে ঐগুলি সদ্‌বিম্ব, কারণ মোমবাতির আলোক প্রকৃতপক্ষে ঐ সকল প্রতিবিম্বের উজ্জ্বল স্থানে আসিয়া পৌঁছিয়াছে।

সুতরাং সদ্‌বিম্বের প্রত্যেক বিন্দুতে উৎসের আলোক আসিয়া পৌঁছে, সেইজন্য সদ্‌বিম্বকে পর্দায় ফেলা যায়। সদ্‌বিম্ব সর্বদা উল্টা প্রতিবিম্ব হয়।

অসদ্‌বিম্বের কোন বিন্দুতে উৎস হইতে আলোক আসিয়া পৌঁছে না এবং সেই কারণে অসদ্‌বিম্ব পর্দায় ফেলা যায় না। অসদ্‌বিম্ব সাধারণত সমশীর্ষ (erect) হইয়া থাকে। যে সমতলে প্রতিফলন ঘটে সেই সমতল বস্তুর নীচে থাকিলে প্রতিবিম্ব উল্টা দেখাইতে পারে। যথা, জলের নীচে গাছের উল্টা প্রতিবিম্ব দেখা যায় ঐ অলীক প্রতিবিম্ব পার্শ্বীয় পরিবর্তনের ফলে ঐরূপ দেখায়।

প্রতিবিম্ব কোন্ দিকে দৃষ্টিগোচর হয়?

মনে কর জানালার দিকে পিছন ফিরিয়া বসিয়া আয়নার দিকে তাকাইয়া আছ। জানালার বাহিরে কৃষ্ণচূড়া গাছে ফুল ফুটিয়াছে, তুমি আয়নার ভিতর তাকাইয়া তাহা দেখিতে পাইতেছ। এস্থলে তুমি গাছ বা ফুল দেখিতেছ না, কারণ তুমি গাছের দিকে পশ্চাৎ ফিরিয়াই বসিয়া আছ, কিন্তু উহাদের প্রতিবিম্ব ঠিকই দেখিতেছ। কিন্তু প্রতিবিম্ব গঠিত হইয়াছে আলোক প্রতিফলনের ফলে এবং গাছ ও ফুল হইতে আয়নায় আপতিত রশ্মি প্রতিফলিত হইয়া তোমার চোখে পৌঁছিয়াছে বলিয়া তুমি ঐ প্রতিবিম্ব দেখিতেছ। কিন্তু কোন্ দিকে প্রতিবিম্বটি গঠিত হইয়াছে? যে রেখায় আলোক তোমার চোখে পড়িয়াছে তাহার পিছন দিকে ঐ রেখাকে বাড়াইলে ঐ রেখার বর্ধিত অংশে প্রতিবিম্ব দেখা যাইবে।

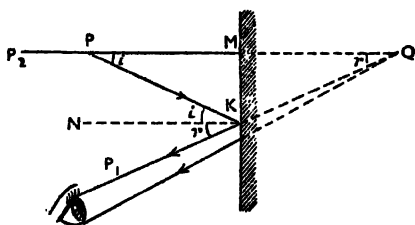
একাধিক প্রতিফলন হইলেও, যে রেখায় আলোক দর্শকের চোখে আসিয়া পড়ে তাহাকে পশ্চাৎ দিকে বর্ধিত করিলে ঐ বর্ধিত অংশে প্রতিবিম্ব দেখা যায়। অর্থাৎ, আলোক আগে কোন্ পথে আসিয়াছে তাহা আমরা বুঝিতে পারি না বা আমাদের চোখ ঐ পথ অনুসরণ করিতে পারে না। কোন বস্তু হইতে নির্গত

আলোকরশ্মি সর্বশেষে যে রেখায় আসিয়া আমাদের চোখে প্রবেশ করে সেই রেখাকে বিপরীত দিকে বাড়াইলে ঐ বর্ধিত অংশের কোন বিন্দুতে আমরা প্রতিবিম্ব দেখি।

কোন প্রকৃত বস্তু হইতে অথবা কোন সদ্‌বিম্ব হইতে যে রেখায় আলোক আসিয়া আমাদের চোখে পৌছে, তাহারও পশ্চাৎ দিকে বর্ধিত অংশেই আমরা বস্তুকে বা সদ্‌বিম্বকে দেখিয়া থাকি।

2.13. সমতল দর্পণ দ্বারা গঠিত প্রতিবিম্ব ঃ

মনে কর MK মসৃণ সমতল কাগজের সমতলে লম্বভাবে আছে। P কাগজের সমতলে একটি বিন্দুবৎ উৎস।

P হইতে PM রেখায় MK এর উপর লম্বভাবে আলোক পড়িতেছে। উহা MP_2 রেখায় প্রতিফলিত হইবে। সুতরাং MP রেখায় অবস্থিত কোন চোখ, PM রেখায় বর্ধিত অংশে প্রতিবিম্ব দেখিবে। PK রেখায় যে রশ্মি MNK সমতলের K বিন্দুতে আপতিত হইতেছে তাহা KP_1 রেখায় প্রতিফলিত হইতেছে। KP_1 রেখায় অবস্থিত চোখ P_1K রেখার বর্ধিত অংশে প্রতিবিম্ব দেখিবে। সুতরাং PM এবং P_1K বর্ধিত করিয়া যে Q বিন্দু পাওয়া গেল তাহাই P বিন্দুর প্রতিবিম্ব হইবে।

P বিন্দু MK দর্পণ হইতে সম্মুখের দিকে যত দূরে, P-র অলীক প্রতিবিম্ব Q আয়নার পশ্চাতে ঠিক তত দূরে

এখন K বিন্দুতে NK, MK এর উপর লম্ব এবং আপাতন কোণ PKN = প্রতিফলন কোণ NKP_1.

PM এবং NK উভয়ই MN এর উপর লম্ব বলিয়া সমান্তরাল।

$$\therefore \angle MPK = \angle PKN = \angle NKP_1$$

এবং $\angle PQK = \angle NKP_1$

$$\therefore \angle MPK = \angle PQK.$$

এক্ষণে PMK এবং QMK ত্রিভুজদ্বয়ের মধ্যে

$$\angle MPK = \angle MQK$$

$$\angle PMK = \angle QMK$$

বাহু MK সাধারণ

$\therefore$ ত্রিভুজদ্বয় সর্বসম।

$\therefore$ PM = QM.

অর্থাৎ কোন বিন্দু আয়না হইতে সম্মুখের দিকে যত দূরে থাকে উহার প্রতিবিম্ব আয়নার পশ্চাতে ঠিক তত দূরে গঠিত হয়।

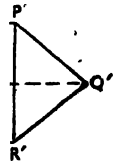
আবার বস্তু যত বড় হইবে তাহার প্রতিবিম্বও তত বড় হইবে।

প্রমাণ—মনে কর PQR ত্রিভুজাকৃতি বস্তুটি KLM আয়নার সম্মুখে কাগজের সমতলে রাখা হইয়াছে।

PQR-এর প্রত্যেক বিন্দু আয়না হইতে সামনের দিকে যত দূরে আছে উহার প্রতিবিম্বের সেই সেই বিন্দু আয়নার পশ্চাৎ দিকে তত দূরে গঠিত হইবে। সুতরাং—

KP = KP′ এবং PP′ দর্পণের সমতলে লম্ব

LQ = LQ′ এবং QQ′ দর্পণের সমতলে লম্ব

MR = MR′ এবং RR′ দর্পণের সমতলে লম্ব

সমতল দর্পণ দ্বারা গঠিত প্রতিবিম্ব বস্তুর সমান

অর্থাৎ KLM রেখার সহিত PQR-এর প্রত্যেক বিন্দু উহার প্রতিবিম্বের সেই সেই বিন্দুর সহিত প্রতিসম। $\therefore$ KLM রেখার উপর কাগজখানা ভাঁজ করিলে PQR, P′Q′R′-এর সহিত সর্বতোভাবে মিলিয়া যাইবে :

$\therefore$ PQ = P′Q′
QR = Q′R′
RP = R′P′

অর্থাৎ PQR ত্রিভুজটি উহার প্রতিবিম্ব P′Q′R′-এর সমান ; কাগজের সমতলের সমান্তরাল যে কোন সমতলে দর্পণ, বস্তু এবং উহার প্রতিবিম্বের ছেদ লইলে ঐ একই সিদ্ধান্তে পৌছানো যায় ; অর্থাৎ, সাধারণভাবে বলা যায় যে, **সমতল দর্পণ দ্বারা গঠিত যে কোন বস্তুর প্রতিবিম্ব বস্তুর সহিত সমান হয়।**

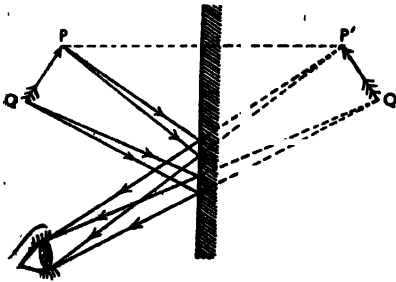
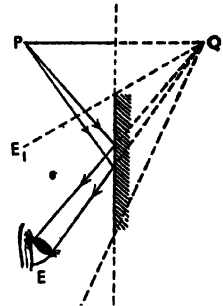
2.14. মসৃণ সমতলে প্রতিফলন জনিত চিত্র :

(*a*) কোন **বিন্দুবৎ উৎসের প্রতিবিম্ব যে ভাবে গঠিত হয়** এবং যে ভাবে উহার চিত্র আঁকিতে হয় তাহা পরের পৃষ্ঠায় চিত্রে দেখানো হইল।

P বিন্দু আয়না হইতে সামনের দিকে যত দূর আছে আয়নার রেখা হইতে

পশ্চাতের দিকে Q ততদূরে লওয়া হইল। Q বিন্দু হইতে দুইটি সরলরেখা আয়নার রেখার সম্মুখের দিকে বাড়াইয়া দাও। আয়নার যে দুই বিন্দুতে ঐ দুই রেখা ছেদ করিল, ঐ দুই বিন্দুর সহিত P যুক্ত কর। চিত্রে প্রদর্শিত মতে তীরচিহ্ন দাও।

বিন্দুবৎ উৎস P হইতে অপসারী আলোকগুচ্ছ দর্পণে প্রতিফলিত হইয়া Q বিন্দু হইতে নির্গত হইতেছে বলিয়া মনে হইতেছে

(*b*) **বিস্তৃত বস্তু মসৃণ সতমলে প্রতিফলনে যে ভাবে দৃশ্যমান হয়** তাহার চিত্র আঁকিবার নিয়ম। (নিম্নের বামদিকের চিত্র দেখ)।

PQ বস্তু। P হইতে আয়নার উপর লম্ব টানিয়া আয়নার পশ্চাতে P-র প্রতিসম P′ বিন্দু স্থাপন কর। ঐ ভাবে Q-র প্রতিসম বিন্দু Q′ স্থাপন কর। আয়নার সম্মুখে আগে চোখ আঁকিয়া লইয়া P′ হইতে চোখ পর্যন্ত দুইটি সরলরেখা টান। ঐ দুই সরলরেখা আয়নার সম্মুখের পৃষ্ঠের যে দুই বিন্দু ছেদ করিবে P হইতে ঐ দুই বিন্দু যোগ কর। এখন Q′ হইতে আরম্ভ করিয়া অনুরূপ অঙ্কন শেষ কর। চিত্রে প্রদর্শিত মতে তীরচিহ্ন দাও এবং আয়নার পশ্চাতের রেখাগুলি dotted করিয়া দাও। P এবং Q হইতে যে ভাবে আলোক প্রতিফলিত হইয়া আসিয়া চোখে পড়িতেছে এবং যে ভাবে প্রতিবিম্ব গঠিত হইতেছে তাহা স্পষ্ট বুঝা যাইবে।

PQ বস্তুর প্রতিবিম্ব P′Q′ যে ভাবে গোচর হয়

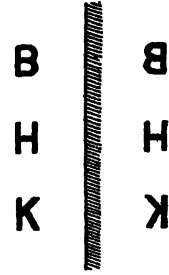
দর্পণের মধ্যে প্রতিবিম্ব দেখিবার জন্য চোখের অবস্থানের সীমা কাগজের সমতলে E_1QE_2 কোণ

(*c*) পাশের চিত্র হইতে বুঝা যাইবে যে, আয়নায় কোন উৎসের প্রতিবিম্ব গঠন হইতে হইলে উহা আয়নার সম্মুখের দিকে যে কোন অবস্থানে থাকিলেই চলিবে—এবং চোখের অবস্থান আয়নার সম্মুখের দিকে এমন স্থানে থাকা আবশ্যক যে প্রতিবিম্ব হইতে চোখ পর্যন্ত যে রেখা টানা যায় তাহা যেন আয়নার

কোন বিন্দু ছেদ করে। চিত্রের QE_1 এবং QE_2 রেখাদ্বয় আয়নার দুই প্রান্তবিন্দু ঘেঁষিয়া যাইতেছে। আয়নার সম্মুখে E_1QE_2 কোণের মধ্যে যে কোন অবস্থানে চোখ রাখিলে Q প্রতিবিম্ব দেখা যাইবে। ইহার বাহিরে চোখ থাকিলে প্রতিবিম্ব দেখা যাইবে না। অর্থাৎ, ঐ সকল ক্ষেত্রে কোন প্রতিফলিত রশ্মি চোখে পৌছিতে পারিবে না।

আয়নায় গঠিত উল্টা প্রতিবিম্ব (Lateral Inversion)—মসৃণ সমতলে আমরা যে প্রতিবিম্ব দেখি তাহা পার্শ্বের দিকে উল্টাইয়া যায়।

চিত্রে প্রদর্শিত অক্ষরগুলি আয়নায় যেরূপ দেখা যাইবে তাহা দেখানো হইল। এইরূপ পাশের দিকে উল্টানো প্রতিবিম্ব গঠনের কারণ আর কিছুই নহে—বস্তুর যে বিন্দু আয়না হইতে যতটা সামনে থাকে উহার প্রতিবিম্বও আয়না হইতে ঠিক ততটা দূরে আয়নার ভিতরে দেখা যায়। সেই কারণে যে সকল অক্ষর পাশের দিকে উল্টাইলে আকৃতির পরিবর্তন হয় সেইগুলির প্রতিবিম্ব আয়নার ভিতর উল্টানো দেখা যায়। চিত্রের H অক্ষরটির প্রতিবিম্বও উল্টা হইয়া পড়িয়াছে, কিন্তু H অক্ষরটি পাশের দিকে উল্টাইলেও ঠিক থাকে বলিয়া চিত্র উল্টা হইয়াছে বলিয়া বুঝা যাইতেছে না।

B | ᗺ
H | H
K | ꓘ

আয়নায় উল্টা প্রতিবিম্ব গঠন

আয়নায় যখন আমরা আমাদের নিজেদের চেহারা দেখি তখন ডান হাতকে বাম হাত আর বাম হাতকে ডান হাত বলিয়া মনে হয়।

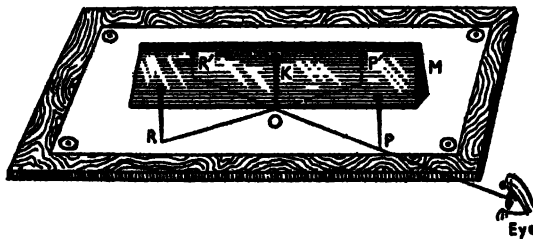
তোমার ডান হাতের প্রতিবিম্ব তোমার ডান দিকেই পড়ে, কিন্তু তুমি যে প্রতিবিম্ব দেখ তাহাও অন্য একটি লোকের মত তোমার সামনে তোমার দিকে তাকাইয়া দাঁড়াইয়া আছে। কিন্তু তুমি সাধারণ অভিজ্ঞতা হইতে জান যে, তোমার দিকে তাকাইয়া যে লোক দাঁড়ায় তাহার বাম দিক তোমার ডান দিকে থাকে। সুতরাং সেই অভিজ্ঞতা হইতে তুমি তোমার ডান হাতের প্রতিবিম্বকে প্রতিবিম্বের বাম হাত এবং বাম হাতের প্রতিবিম্বকে প্রতিবিম্বের ডান হাত মনে কর। চেহারাটা অপরের হইলে কিছুই অস্বাভাবিক বোধ হইত না, কিন্তু এস্থলে চেহারাটা নিজের বলিয়াই তুমি ডান হাত তুলিলে প্রতিবিম্বের বাম হাত তোলা হয়; ইহা দেখিলে তোমার নিজের কাছে একটু অদ্ভুত মনে হয়।

2.15. আয়না ও পিনের সাহায্যে প্রতিফলনের নিয়ম

প্রতিবিম্ব গঠন ও অঙ্কন সম্পর্কে ধারণা জন্মিবার পর এখন আয়নায় পিনের প্রতিবিম্ব দেখিয়া কিভাবে প্রতিফলনের নিয়মগুলির সত্যতা প্রমাণ করা যায় তাহা বুঝা যাইবে।

পিনের সাহায্যে আলোকের প্রতিফলনের নিয়ম পরীক্ষা—

একখানা কাঠের বোর্ডে একখানা কাগজ বোর্ড পিনের সাহায্যে আটকাইয়া লও; ঐ কাগজের উপর একখানা আয়তাকার সরু ভাল আয়না খাড়াভাবে বসাও—ঐভাবে বসাইবার সুবিধার জন্য সাধারণত আয়নাখানা একখানা কাঠের ব্লকের সহিত সংযুক্ত থাকে। নিম্নের চিত্রে M ঐ আয়না। আয়নার পিছনের দিক—অর্থাৎ, চকচকে দিক যে রেখায় কাগজের সমতলে মিলিয়াছে তাহা পেন্সিল দিয়া দাগ কাটিয়া নির্দেশ কর।

এখন আয়নার গা ঘেঁষিয়া একটি পিন কাগজের উপর O স্থানে স্থাপন কর। আয়নার সম্মুখ দিকে যে কোন স্থানে কাগজের উপর আর একটি পিন R স্থাপন

পিনের সাহায্যে প্রতিফলনের নিয়ম প্রমাণ

কর। পিনগুলি খাড়াভাবে বসাইতে হইবে। এখন বোর্ডের লেভেলে চোখ আনিয়া আয়নার ভিতরের প্রতিবিম্ব এবং O অবস্থানের পিনটি যাহাতে একই রেখায় দেখা যায় সেইরূপ অবস্থায় চোখ রাখ। ঐ দৃষ্টিপথে P পিনটি এমন স্থানে বসাও যে প্রতিবিম্ব R', পিন OK এবং পিন P একই সরলরেখায় দেখা যায়।

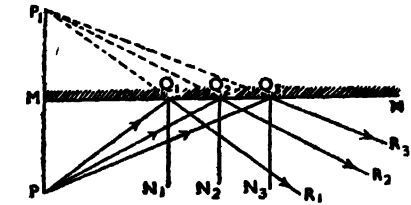
O, R এবং P-র অবস্থান কাগজে পেন্সিল দ্বারা চিহ্নিত কর। পিনগুলি এবং আয়না সরাইয়া RO এবং OP যোগ কর এবং O বিন্দুতে আয়নার অবস্থান নির্দেশক রেখার সহিত লম্ব টান। চাঁদা (protractor) দ্বারা মাপিয়া দেখ RO রেখা এবং PO রেখা O বিন্দুতে অঙ্কিত লম্বের সহিত সমান কোণ উৎপন্ন করিয়াছে।

আলোক সরলরেখায় চলে, সুতরাং R পিন এবং কাগজ যে বিন্দুতে মিলিত হইয়াছে সেই বিন্দু হইতে কাগজের সমতলে RO রেখায় আলোক আয়নায় আপতিত হইয়াছে ; আবার যেহেতু প্রতিবিম্ব প্রতিফলিত আলোকে দেখা যাইতেছে এবং OP রেখায় ঐ প্রতিবিম্ব দেখা যায়, সুতরাং প্রতিফলিত আলোকরশ্মি OP রেখায় আসিতেছে। O বিন্দুতে অঙ্কিত লম্ব কাগজের সমতলে আয়নাতে অভিলম্ব হইবে। সুতরাং আপতিত রশ্মি, অভিলম্ব এবং প্রতিফলিত রশ্মি একই সমতলে অবস্থান করিতেছে।

আর আগেই দেখা গিয়াছে যে আপাতন কোণ প্রতিফলন কোণের সমান।

পিনের সাহায্যে **সমতল দর্পণ হইতে বস্তু যত দূরে থাকে তাহার প্রতিবিম্বও তত দূরে গঠিত হয়** তাহাও পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করা যায়।

পূর্বের মত একখানা কাগজ বোর্ডপিনের সাহায্যে ড্রয়িং বোর্ডে আটকাইয়া লও। এখন আয়নাখানি ঐ কাগজের মধ্যস্থলে বসাইয়া পূর্বের মত সুক্ষ্মাগ্র পেন্সিল দ্বারা উহার অবস্থান নির্দেশ করিবার জন্য MN রেখা টান।

আয়নার সম্মুখে একপাশে আয়না হইতে কিছু দূরে (প্রায় 10 সে. মি. দূরে) বাম দিকে একটি পিন (P) পুঁতিয়া দাও।

সমতল দর্পণ হইতে পিনের সাহায্যে বস্তুর দূরত্ব এবং প্রতিবিম্বের দূরত্ব সমান প্রমাণ করা

চিত্রে প্রদর্শিত তির্যক রেখা PQ_1এর Q_1 অবস্থানের অনুরূপ স্থানে আয়নার গা ঘেঁষিয়া আর একটি পিন বসাও। এখন ডান দিকে চোখ নিয়া ঐ দুই পিনের প্রতিবিম্ব যে রেখায় দেখা যায় সেই একই রেখা ক্রমে চোখ রাখিয়া আরও একটি পিন R_1 বসাও। বিভিন্ন আপাতন কোণের জন্য Q_2 এবং Q_3-এর অবস্থানে পিন বসাইয়া উহাদের প্রতিবিম্ব দেখিয়া প্রতিফলিত রশ্মির দিক স্থির কর। প্রত্যেক প্রতিফলিত রশ্মির পথে একটি করিয়া পিন বসাও, এই পিনগুলির অবস্থান R_2 এবং R_3 দ্বারা চিত্রে সূচিত হইয়াছে।

আয়না সরাইয়া লও। এখন R_1Q_1, R_2Q_2 এবং R_3Q_3কে বর্ধিত কর, উহারা P_1 স্থানের অনুরূপ বিন্দুতে মিলিত হইবে। ঐ P_1 বিন্দুই ঐ P বিন্দুর প্রতিবিম্ব হইবে।

PP_1 যোগ কর। চাঁদার সাহায্যে $\angle PMQ_1$ এবং $\angle P_1MQ_1$ দুইটি মাপিয়া দেখ ; ঐ কোণগুলির প্রত্যেকটি 90° হইবে এবং ডিভাইডার ও স্কেল

ব্যবহার করিয়া MP এবং MP_1 এর দূরত্ব মাপিয়া দেখ ঐ দুই দূরত্ব সমান হইবে।

দ্রষ্টব্য—Q_1, Q_2 এবং Q_3 বিন্দুতে MN রেখার সহিত লম্ব টানিয়া আপাতন কোণ এবং প্রতিফলিত কোণ মাপিয়া এই একই পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করা যায় যে আপাতন কোণ প্রতিফলন কোণের সমান।

2.16. দুই দর্পণে প্রতিফলন ঃ

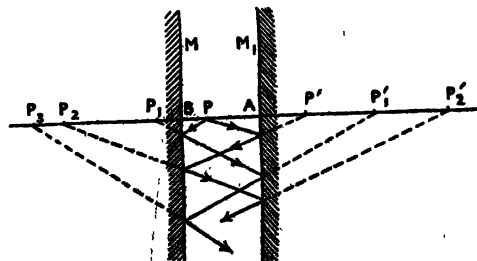
(a) সমান্তরাল সমতল দর্পণে প্রতিফলন—

পরীক্ষা—দুইটি সমতল দর্পণ খাড়াভাবে পরস্পর মুখোমুখি রাখিয়া সমান্তরাল ভাবে বসাও। উহাদের মাঝে একটি মোমবাতি জ্বালাইয়া বসাও। একটি দর্পণ খাড়া রাখিয়াই একপাশে একটু ঠেলিয়া দিয়া উহার পশ্চাৎ হইতে অপর দর্পণের মধ্যে তাকাও। দেখিবে মোমবাতির শিখার বহু প্রতিবিম্ব এক সারিতে দেখা যাইতেছে। বলা বাহুল্য, উল্টা দিক হইতে অন্য দর্পণের মধ্যে তাকাইলেও ঐরূপই দেখা যাইবে।

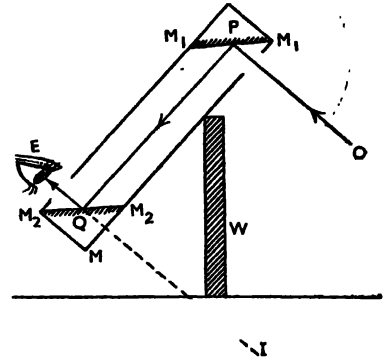
কিভাবে এতগুলি প্রতিবিম্ব হয় তাহার ব্যাখ্যা নীচের চিত্র হইতে বুঝা যাইবে। M_2 আয়নায় P বিন্দুর প্রতিচ্ছবি P_1 গঠিত হইয়াছে।

এই অবস্থায় $PB = P_1B$; এখন P_1 প্রতিবিম্ব M_1 আয়নার পক্ষে উৎসের কাজ করিতেছে এবং ফলে P_1' প্রতিবিম্ব প্রস্তুত হইয়াছে, এই অবস্থায় $P_1A = AP_1'$; আবার P_1' প্রতিবিম্ব M_2 আয়নার পক্ষে উৎসের কাজ করিতেছে এবং ফলে P^3 স্থানে প্রতিবিম্ব হইতেছে। এস্থলে $P_1'B = P_3B$.

দুই সমান্তরাল দর্পণের সাহায্যে বহু প্রতিবিম্ব গঠন

এইভাবে দেখিলে মনে হইবে যে দুই দর্পণের মধ্যে অসীম সংখ্যক প্রতিবিম্ব হওয়ার কথা। প্রকৃতপক্ষে বার বার প্রতিফলনের ফলে আলোক একটু একটু শোষিত হয় বলিয়াই ঐ প্রতিবিম্বগুলির সংখ্যা বহু হইলেও সসীম হইয়া থাকে। উৎস যত উজ্জ্বল হয় প্রতিবিম্বের সংখ্যাও তত বেশী দেখা যায় বটে।

পেরিস্কোপ—দুইটি সমতল দর্পণ সমান্তরাল রাখিয়া বাহিরের বস্তু দেখিবার জন্য পেরিস্কোপ নামক এক প্রকার অতি সরল যন্ত্র প্রস্তুত করা যায়।

একটি কাঠের লম্বা আয়তাকার বাক্সে A ও B দুইটি সমান্তরাল আয়না বসানো থাকে। প্রত্যেক আয়নার সম্মুখে বাক্সের কতক অংশের কাঠ সরাইয়া ফেলা হয়।

ইহা উপরে তুলিয়া আবশ্যকমত কাত করিয়া ধরিয়া নীচের আয়নার ভিতর দিয়া তাকাইলে সম্মুখের দেওয়াল বা ভীড়ের পশ্চাতে কোন বস্তু বা খেলা প্রভৃতি ঘটনা দেখা যায়।

সাধারণ পেরিস্কোপ

(W দেওয়ালের পশ্চাৎ দিকের জিনিস দেখা)

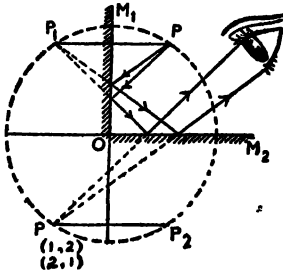
কিভাবে ইহা সম্ভবপর হয় তাহা চিত্র দেখিলেই বুঝা যাইবে। দূরের বস্তু হইতে আলোক আসিয়া OP রেখায় M_1M_1 আয়নায় পড়িয়া প্রতিফলিত হইয়া M_2M_2 আয়নায় পড়িতেছে। তথা হইতে আবার প্রতি-ফলিত হইয়া QE রেখায় নির্গত হইতেছে। ঐ রশ্মি দর্শকের চোখে পড়িলে দর্শক EQ রেখার বর্ধিত অংশে M_2M_2 আয়নার পশ্চাতে সেই দূরের বস্তুটির প্রতিবিম্ব দেখিতে পাইবে। প্রতিফলন দুইবার হওয়ার ফলে প্রথম প্রতিফলনে গঠিত উল্টা প্রতিবিম্ব আবার দ্বিতীয় প্রতিফলনে ঠিক হইয়া যায়। কলিকাতার খেলার মাঠে দূর হইতে খেলা দেখিবার জন্য এই প্রকার পেরিস্কোপ অনেকে ব্যবহার করে।

(*b*) সমকোণে অবস্থিত দুই দর্পণে প্রতিফলন—

পরীক্ষা—দুইখানি সমতল দর্পণ পরস্পরের সহিত সমকোণে রাখিয়া উহাদের মধ্যে একটি প্রজ্বলিত মোমবাতি রাখ।

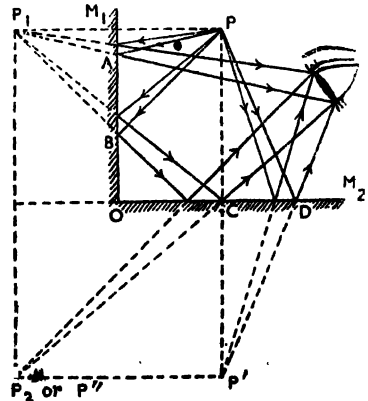
আয়নাগুলির ভিতরে তিনটি প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে। OM_1 দর্পণ দ্বারা P বিন্দুর প্রতিবিম্ব P_1 বিন্দুতে গঠিত হইবে। OM_2 দর্পণ দ্বারা P বিন্দুর প্রতিবিম্ব P_2 বিন্দুতে গঠিত হইবে।

P_1 প্রতিবিম্ব OM_2 দর্পণের পক্ষে উৎসের কাজ করিবে এবং তাহার ফলে

P_1-এর একটি প্রতিবিম্ব $P_{(1,2)}$ বিন্দুতে গঠিত হইবে আবার P_2 প্রতিবিম্ব OM_1 দর্পণের পক্ষে উৎসের কাজ করিবে সুতরাং P_2-র আর একটি প্রতিবিম্ব $P_{(2,1)}$ গঠিত হইয়া উভয়ে একই স্থানে মিলিত হইবে। (সমতল দর্পণ হইতে বস্তু যত দূরে, উহার প্রতিবিম্ব তত দূরে আয়নার ভিতরে গঠিত হয় এই কথা মনে রাখিলেই ইহা বুঝা যাইবে।) ঐ দুই মিলিত প্রতিবিম্ব যেভাবে দৃষ্টিগোচর হয় তাহা চিত্রে দেখানো হইয়াছে।

সমকোণে অবস্থিত দুই দর্পণের দ্বারা গঠিত প্রতিবিম্ব

ঐ প্রতিবিম্ব M_1O এবং M_2O দর্পণগুলির পশ্চাতে পড়িতেছে। সুতরাং ইহা আর কোন দর্পণের পক্ষে উৎসের কাজ করিতে পারিবে না। প্রকৃতপক্ষে M_1O ও M_2O রেখার বর্ধিত অংশ দ্বারা যে কোণ সৃষ্ট হইতেছে তাহার মধ্যে প্রতিবিম্ব গঠিত হইলেই আর উহা কোন দর্পণের পক্ষে উৎসের কাজ করিতে পারে না।

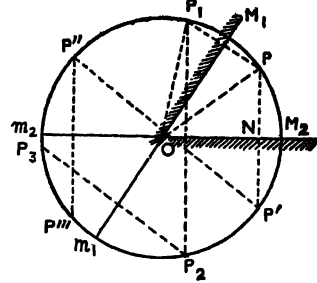
আবার M_1O এবং M_2O যথাক্রমে PP_1 রেখা এবং PP_2 রেখার লম্ব দ্বিখণ্ডক। উহারা O বিন্দুতে মিলিত হইয়াছে। সুতরাং P P_1 এবং P_2 একই বৃত্তের পরিধিতে অবস্থিত। অনুরূপভাবে P_1 $P_{(1,2)}$ এবং P_2 ঐ একই পরিধিতে অবস্থিত। অর্থাৎ, বস্তু এবং উহার প্রতিবিম্বগুলি একই বৃত্তের পরিধিতে অবস্থিত এবং ঐ বৃত্তের কেন্দ্র O.

পার্শ্বের চিত্রে তিনটি প্রতিবিম্ব যে ভাবে দৃষ্টিগোচর হয় তাহা দেখানো হইল। চিত্র আঁকিবার জন্য প্রথমে প্রতিবিম্বের অবস্থানগুলি চিহ্নিত করিয়া ঐ বিন্দুগুলি হইতে চোখের মধ্যে দুইটি করিয়া সরলরেখা টানিয়া দিতে হইবে। ঐ রেখাগুলি আয়নায় যে সকল বিন্দুতে ছেদ করিবে P হইতে আপতিত রশ্মি সেই সকল বিন্দুতে প্রতিফলিত হইয়া চোখে যাইবে।

সমকোণে অবস্থিত দুই দর্পণ দ্বারা গঠিত প্রতিবিম্ব যেভাবে দৃষ্টিগোচর হয়

(c) যে-কোন কোণে অবস্থিত দুইটি সমতল দর্পণ—

মনে কর OM_1 এবং OM_2 সমতল দর্পণ দুইটির মধ্যে কোণ θ।

যে-কোন কোণে অবস্থিত দুই দর্পণ দ্বারা গঠিত প্রতিবিম্ব

OM_1 দর্পণের প্রতিফলনের ফলে গঠিত P_1 প্রতিবিম্ব হইতে পর পর যে সকল প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে তাহা P_2 এবং P_3 দ্বারা সূচিত হইয়াছে; সেইরূপ OM_2 দর্পণে প্রতিফলনের ফলে গঠিত P' প্রতিবিম্ব হইতে পর পর যে সকল প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে তাহা P'', P''' দ্বারা সূচিত হইয়াছে। যেহেতু OM_1 রেখা এবং OM_2 রেখা যথাক্রমে PP_1 এবং PP' রেখার লম্বদ্বিখণ্ডিক এবং ইহারা O বিন্দুতে মিলিত হইয়াছে, সেই হেতু PP_1P' একই বৃত্তের পরিধিতে অবস্থিত এবং O বিন্দু ঐ বৃত্তের কেন্দ্র। আবার অনুরূপ কারণে P_1 P_2 P_3 ঐ একই বৃত্তস্থ। এইভাবে দেখানো যায় যে সকল প্রতিবিম্বই একটি বৃত্তের পরিধির উপর অবস্থিত। ঐ বৃত্তের কেন্দ্র O এবং ব্যাসার্ধ OP। P_3 এবং P''' দুই দর্পণেরই পশ্চাতে পড়ায় ঐগুলি হইতে আর প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে না।

যদি $\theta = M_1OM_2$ কোণ, $360°$ কোণের উৎপাদক হয় তবে ঐ শেষ দুই প্রতিবিম্ব মিলিত হইবে এবং প্রতিবিম্বের সংখ্যা হইবে $\frac{360}{\theta} - 1$

ইহার পরীক্ষামূলক প্রমাণ আমরা পাইয়াছি সমকোণে স্থাপিত দুইটি দর্পণের ক্ষেত্রে।

যদি দর্পণ দুইটি $60°$ কোণে স্থাপিত হয় তবে ঐ সূত্র অনুযায়ী প্রতিবিম্বের সংখ্যা হয় 5টি।

যদি দুইখানা আয়না পরস্পর $60°$ কোণ উৎপন্ন করে এবং ইহাদের মধ্যে একটি প্রজ্বলিত মোমবাতি রাখা হয়, তবে পাঁচটি প্রতিবিম্ব সহ ঐ মোমবাতিকে একটি বৃত্তাকার রেখায় সজ্জিত দেখা যাইবে।

$60°$ কোণ করিয়া দর্পণ স্থাপন করিয়া একটি ভাল খেলনা প্রস্তুত করা যায়। ইহার নাম **কেলিডস্কোপ (Kaleidoscope)**।

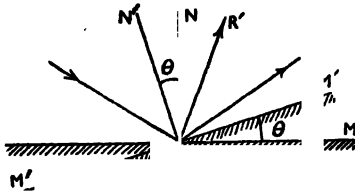
6 ইঞ্চি লম্বা এবং এক বা দেড় ইঞ্চি প্রশস্ত তিনখানা কাঁচের টুকরাকে (আয়নার টুকরা হইলে আরও ভাল হয়) পরস্পরের প্রস্থের সহিত $60°$ কোণ করিয়া বসাইয়া সুতা দ্বারা বাঁধিয়া লও। ইহার মধ্যে নানা রঙের কুচি পাথর বা কাঁচের কয়েকটি

টুকরা রাখিয়া দুই প্রান্তে বৃত্তাকার পাতলা কাঁচ আঠা দ্বারা লাগাইয়া দাও। বাহিরের শক্ত কাগজ বা পুরানো পোস্ট কার্ড প্রভৃতি দ্বারা গোল চোঙের মত একটি আবরণ দিয়া লইলে ভাল হয়।

এইবার উহার এক প্রান্ত আলোর দিকে রাখিয়া বিপরীত প্রান্ত হইতে ভিতরে তাকাও—চমৎকার চিত্র চোখে পড়িবে। চোঙটি একটু নাড়িয়া আবার দেখ, মুহূর্তে পূর্বের চিত্র পরিবর্তিত হইয়া নূতন চিত্র দেখা দিবে।

প্রত্যেক কোণায় রক্ষিত বস্তুর পাঁচটি করিয়া প্রতিবিম্ব গঠিত হইয়া ছয় শাখাযুক্ত একটি চিত্র গঠিত হইবে। উহা অপর কাঁচে প্রতিফলিত হইয়া আগের দুই কাঁচে প্রতিফলিত হইবে। ফলে আয়নাগুলির যে কোন অবস্থায় প্রত্যেক শিরের চারিদিকে অনেকগুলি ছাপযুক্ত চিত্রের ন্যায় সুন্দর চিত্র দেখা যাইবে।

দর্পণ ঘূর্ণনের ফল—আপতিত রশ্মির দিক ঠিক রাখিয়া দর্পণকে যত ডিগ্রি ঘুরানো যায় প্রতিফলিত রশ্মি তাহার দ্বিগুণ ঘুরিয়া যায়।

মনে কর MM দর্পণের প্রথম অবস্থান এবং PO আপতিত রশ্মি। ON দর্পণের প্রথম অবস্থানে আপাতন বিন্দু O-তে অভিলম্ব এবং OR′ ঐ সময়ে প্রতিফলিত রশ্মি। M′M′ দর্পণের দ্বিতীয় অবস্থান। ON′ ঐ সময়ে দর্পণের দ্বিতীয় অবস্থানে আপাতন বিন্দুতে অভিলম্ব এবং OR′ প্রতি-ফলিত রশ্মি।

দর্পণ ঘুরাইলে প্রতিফলিত রশ্মির ঘূর্ণন

মনে কর $\angle PON = i$

$\therefore \quad \angle NOR = i$

এক্ষণে $\angle ROR' = \angle N'OR - \angle N'OR'$

$= \angle N'OR - \angle PON'$

কারণ দ্বিতীয় অবস্থানের আপাতন কোণ $\angle PON'$ = প্রতিফলন কোণ $N'OR'$

কিন্তু $\angle N'OR = \angle NOR + \angle N'ON = i + \theta$

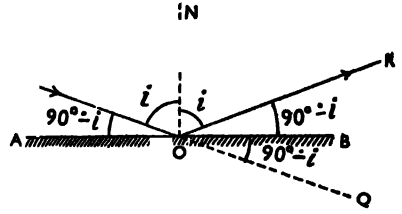
এবং $\angle PON' = \angle PON - \angle N'ON = i - \theta$

$\therefore \quad ROR' = (i+\theta) - (i-\theta)$

$= 2\theta$

দ্রষ্টব্য—যেহেতু আলোক-রশ্মি বিপরীতক্রমে চলিতে পারে, সেইজন্য বুঝা যাইবে যে, দর্পণ ঘুরাইলেও যদি **প্রতিফলিত রশ্মির দিক ঠিক রাখিতে হয়** *তবে আপতিত রশ্মির দিক দর্পণের ঘূর্ণনের দ্বিগুণ পরিমাণ ঘুরাইতে হইবে।*

প্রতিফলনের দরুন বিচ্যুতি (Deviation due to Reflection)

AB সমতল দর্পণে PO আপতিত রশ্মি, OR প্রতিফলিত রশ্মি এবং ON আপাতন বিন্দু O-তে AB-র উপর অভিলম্ব। যদি দর্পণ ঐ স্থানে না থাকিত তবে আলোক-রশ্মি POQ পথে সরলরেখা ক্রমে চলিত। দর্পণ থাকায় উহা ঐ পথ হইতে ঘুরিয়া OR পথে চলিয়াছে।

এক দর্পণে প্রতিফলনজনিত বিচ্যুতি

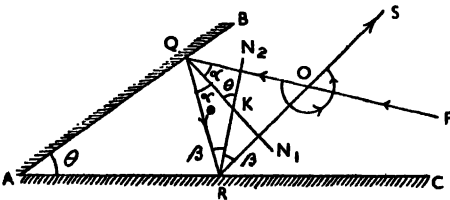
সুতরাং প্রতিফলনের ফলে আপতিত রশ্মির যে কৌণিক বিচ্যুতি ঘটিয়াছে তাহার পরিমাণ $\angle QOR = \angle QOB + \angle BOR$

$$= 90° - i + 90° - i$$

$$= 180° - 2i$$

ঐ কোণের মান রেডিয়ানে হিসাব করিলে ($\pi - 2i$) হইবে।

$$\text{বা } 2\left(\frac{\pi}{2} - i\right)$$

দুইটি সমতল দর্পণ পরস্পরের মুখোমুখী করিয়া কোন নির্দিষ্ট কোণে স্থাপন করিলে কোন আপতিত রশ্মি যতটা বিচ্যুত হয় তাহার মান নির্ণয় :—

দুই দর্পণেপ্রতিফলন জনিত বিচ্যুতি

মনে কর AB এবং AC দুইটি সমতল দর্পণ পরস্পর মুখোমুখী করিয়া θ কোণে রাখা হইয়াছে।

PQ আলোক-রশ্মি AB দর্পণে α আপাতন কোণে আপতিত হইয়াছে, প্রতিফলিত রশ্মি QR, AC দর্পণে β কোণে আপতিত হইয়া RS রেখায় প্রতিফলিত হইয়াছে।

এই ক্ষেত্রে দুই বারে বিচ্যুতি হইবে

$$2(90° - \alpha) + 2(90° - \beta)$$

$$= 2\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) + 2\left(\frac{\pi}{2} - \beta\right) \text{ [কোণগুলি রেডিয়ানে মাপা হইলে]}$$

$$= 2\{\pi - (\alpha + \beta)\}$$

ঐ বিচ্যুতি আবার QOS প্রবৃদ্ধ কোণের সমান $\angle QOS = \pi + \angle QOR$

এক্ষণে OQR ত্রিভুজের $\angle QOR = \pi - 2(\alpha + \beta)$

$\therefore$ প্রবৃদ্ধ কোণ $QOS=\pi-2(\alpha+\beta)+\pi=2\{\pi-(\alpha+\beta)\}$

কিন্তু QN_1, ABর উপর লম্ব, RN_2 ACর উপর লম্ব। $\therefore$ AB এবং ACর মধ্যস্থ সূক্ষ্ম কোণ $\theta=QN_1$ এবং RN_2র মধ্যস্থ সূক্ষ্ম কোণ QKN_2

কিন্তু $\angle QKN_2$, KQR ত্রিভুজের বহিস্থ কোণ

$\therefore \quad \angle QKN_2=\alpha+\beta.$

$\therefore \quad \theta=\alpha+\beta.$

এবং বিচ্যুতি $2(\pi-\theta)$.

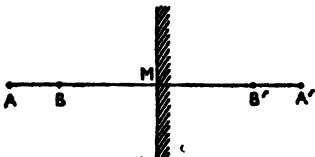
(1) যদি আপতিত রশ্মি প্রথম সমতল দর্পণের (AC) সমান্তরালে আসিয়া দ্বিতীয় দর্পণে প্রতিফলিত হইয়া আবার প্রথম দর্পণে প্রতিফলিত হইয়া দ্বিতীয় দর্পণের সমান্তরালে নির্গত হয় তবে θর মান কত ?

এই ক্ষেত্রে $PQ \parallel RA$ এবং $AQ \parallel RS$ $\therefore$ $\angle QOR=\theta$ এবং প্রবৃদ্ধ কোণ $QOS=\pi+\theta$

কিন্তু বিচ্যুতি $2\{\pi-(\alpha+\beta)\}$
$=2(\pi-\theta)$.

$$\therefore \quad 2(\pi-\theta)=\pi+\theta$$
$$2\pi-2\theta=\pi+\theta$$
$$\pi=3\theta$$
$$\theta=\frac{\pi}{3} \text{ রেডিয়ান বা } 60^\circ.$$

(2) কোন বস্তু যে বেগে একটি সমতল দর্পণের দিকে অগ্রসর হইবে তাহার দ্বিগুণ বেগে তাহার প্রতিবিম্বের দিকে অগ্রসর হইবে।

মনে কর কোন মুহূর্তে বস্তুটি M দর্পণের সম্মুখে A অবস্থান আছে। তখন যেন উহার দূরত্ব $AM=d$.

দর্পণের দিকে অগ্রসর হওয়ার ফল

সেই মুহূর্তে তাহার প্রতিবিম্ব A′, আয়নার ভিতরে MA′ বা d দূরত্বে থাকিবে। সুতরাং বস্তুও উহার প্রতিবিম্বের মধ্যের দূরত্ব $2d$.

যদি t সেকেণ্ডে বস্তুটি A হইতে দর্পণের অভিমুখে B পর্যন্ত আসে এবং $MB=x$ হয় তবে ঐ সময়ে উহার প্রতিবিম্ব B′ বিন্দুতে আসিবে এবং $MB'=x$ হইবে। অর্থাৎ এখন বস্তু এবং উহার প্রতিবিম্বের মধ্যে দূরত্ব হইবে $2x$.

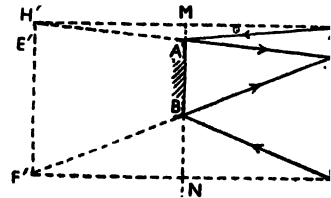
সুতরাং t সময়ের মধ্যে বস্তুর নিজের অতিক্রান্ত দূরত্ব $AB=d-x$ এবং ঐ একই সময়ে বস্তুটি এবং উহার প্রতিবিম্বের মধ্যে দূরত্ব কমিয়াছে, $2d-2x$ বা $2(d-x)$ অর্থাৎ বস্তু যে বেগে দর্পণের নিকট আসিতেছে তাহার দ্বিগুণ বেগে বস্তু এবং প্রতিবিম্বের দূরত্ব কমিতেছে।

যদি বস্তু স্থির থাকে এবং দর্পণকে বস্তুর দিকে আনা হয় বা বস্তু হইতে সরাইয়া দূরে লওয়া হয় তাহা হইলেও প্রতিবিম্ব বস্তুর দিকে দ্বিগুণ বেগে অগ্রসর হইবে বা দ্বিগুণ বেগে দূরে চলিয়া যাইবে।

(৪) কোন ব্যক্তি যদি তাহার নিজের সম্পূর্ণ প্রতিবিম্ব কোন সমতল দর্পণে দেখিতে চায় তবে কমপক্ষে তাহার নিজের উচ্চতার অর্ধেক দৈর্ঘ্যের দর্পণ আবশ্যক হইবে।

নীচের চিত্র দেখ। মনে কর HF লোকটির উচ্চতা, H উহার মাথা, F পা, এবং E চোখের অবস্থান নির্দেশ করিতেছে।

MN সমতল দর্পণ তাহার সম্মুখে খাড়াভাবে রাখা হইয়াছে। ফলে MN হইতে সম্মুখ দিকে যত দূরে HF আছে MN হইতে পশ্চাৎদিকে তত দূরে তত বড় প্রতিবিম্ব H′F′ গঠিত হইবে।

ঐ প্রতিবিম্ব দেখিতে হইলে H′ এবং F′ হইতে আলোক-রশ্মি E-তে আসিয়া পৌঁছিতেছে মনে হইবে। F′E এবং H′E যোগ কর। উহারা যেন MN কে যথাক্রমে B এবং A বিন্দুতে ছেদ করিল। F হইতে আলোক E-তে আসিতেছে বলিয়া মনে হইবে; বস্তুতপক্ষে F হইতে নির্গত আপতিত রশ্মি B বিন্দুতে পড়িয়া BE রেখায় প্রতিফলিত হওয়ার ফলেই ঐরূপ মনে হইবে। সেইরূপ H′ হইতে যে আলোক আসিতেছে বলিয়া মনে হইবে তাহা প্রকৃতপক্ষে H হইতে A-তে আপতিত হইয়া AE রেখায় প্রতিফলিত হইয়াছে। অর্থাৎ লোকটির পা হইতে মাথা পর্যন্ত সকল স্থান হইতে আলোক-রশ্মি আয়নায় আপতিত হইয়া প্রতিফলিত হইয়া চোখে আসিতেছে।

নিজের পূর্ণাবয়ব প্রতিবিম্ব দেখিবার জন্য ক্ষুদ্রতম আয়না

স্পষ্টই বুঝা যায় যে ABর সমান দর্পণ হইলেও লোকটি তাহার সম্পূর্ণ প্রতিবিম্ব দেখিতে পারিবে। জ্যামিতির সাহায্যে প্রমাণ করা যায় যে

$AB = \frac{1}{2} MN = \frac{1}{2} HF.$

কারণ HF=MN। N বিন্দু FF″এর মধ্যবিন্দু এবং NB রেখা FE রেখার সমান্তরাল। ∴ B বিন্দু EF′ রেখার মধ্যবিন্দু এবং

অনুরূপভাবে A বিন্দু EH″রেখার মধ্যবিন্দু। সুতরাং EH′F′ ত্রিভুজের দুই বাহুর মধ্যবিন্দু সংযোগকারী সরলরেখা AB, H′F′ রেখার অর্ধেক, অর্থাৎ $AB=\frac{1}{2}HF$

A বিন্দুতে MNএর উপর লম্ব টানিলে দেখানো যাইবে যে A বিন্দু E বিন্দু হইতে যত উপরে আছে তাহা EHএর অর্ধেক। সুতরাং দর্পণ ঐ মাপের হইলে যাহাতে উহার উপরের প্রান্ত দর্শকের চোখ এবং মাথার মাঝামাঝি লেভেলে থাকে সেই ভাবে দর্পণকে বসাইতে হইবে—উপরে বা নীচে রাখিলে কাজ হইবে না।

প্রশ্ন

1. আলোক প্রতিফলনের নিয়মগুলি চিত্রের সাহায্যে ব্যাখ্যা কর।

সুষম এবং বিষম প্রতিফলন বলিলে কি বোঝায়? চিত্রের সাহায্যে তোমার উত্তর ব্যাখ্যা কর।

(Explain the laws of reflection of light with the aid of suitable diagrams. What are meant by regular and irregular reflection ? Explain your answer with the aid of diagrams.)

2. প্রতিবিম্বের সংজ্ঞা বল এবং উদাহরণসহ সদ্‌বিম্ব এবং অলীক বিম্ব ব্যাখ্যা কর। উহাদের পার্থক্য পৃথকভাবে লিখ।

(Define image and explain with example, what are meant by real and virtual images.)

3. (a) কোন বস্তুর প্রতিবিম্ব কোন্ দিকে দেখা যায়? (b) প্রমাণ কর যে, কোন বস্তু সমতল দর্পণের যতটা সম্মুখে থাকে উহার প্রতিবিম্ব ঠিক ততটা পশ্চাতে গঠিত হয়। (c) প্রমাণ কর যে, সমতল দর্পণ দ্বারা গঠিত প্রতিবিম্ব বস্তুর সহিত সমান।

((*a*) In which direction is the image of an object seen ? (*b*) Prove that for a plane mirror the object distance is equal to the image distance. (*c*) Prove that the image formed by a plane mirror is of the same size as the object.)

4. (a) আয়নার সম্মুখে রক্ষিত কোন বস্তুর প্রতিবিম্ব কিভাবে দৃষ্টিগোচর হয় তাহা চিত্র আঁকিয়া দেখাও। (b) সমতল দর্পণ দ্বারা গঠিত প্রতিবিম্ব দেখিতে হইলে চোখের অবস্থান কোথায় থাকা আবশ্যক? (c) আয়নায় আমাদের প্রতিবিম্ব গঠিত হইলে আমাদের ডান হাত তুলিলে প্রতিবিম্বের বাম হাত ওঠে বলিয়া মনে হয় কেন?

((*a*) Show by a diagram how the image of an object formed by a plane mirror becomes visible to an eye. (*b*) Where should the eye be placed to enable an observer to see the image formed by a plane mirror ? (*c*) On looking towards our own image formed by a plane mirror, we see that the left hand of the image is raised when we raise our right hand, why ?)

5. আলোক প্রতিফলনে নিয়মগুলি পরীক্ষা করিবার উপায় বর্ণনা কর।

(Describe an experiment to verify the laws of reflection of light.)

6. দুইটি সমতল দর্পণ (a) সমান্তরাল হইলে, (b) 60° কোণে অবস্থিত থাকিলে, (c) 90° কোণে থাকিলে প্রতিবিম্বের সংখ্যা কখন কত হইবে ? 90° কোণে রক্ষিত দুই দর্পণ দ্বারা গঠিত কোন বিন্দুবৎ উৎসের প্রতিবিম্বগুলি যে ভাবে দর্শকের দৃষ্টিগোচর হয় তাহার চিত্র আঁকিয়া দেখাও।

(What will be the number of images seen when two plane mirrors facing one another are (*a*) parallel, (*b*) at an angle of 60° and (*c*) at an angle of 90° ?

Draw a diagram to show how the images of a point source of light placed between two plane mirrors at right angles become visible to an eye.)

7. প্রমাণ কর যে, যে-কোন কোণে রক্ষিত দুই দর্পণের দ্বারা গঠিত প্রতিবিম্বগুলি এবং বস্তুটি একই বৃত্তের পরিধিতে অবস্থিত থাকে।

(Prove that the images formed by two inclined mirrors and the object placed between these all lie on a circle.)

8. একটি সাধারণ পেরিস্কোপের গঠন ও কাজ ব্যাখ্যা কর। আবশ্যক চিত্র আঁক।

(Describe and explain the action of an ordinary periscope. Draw the necessary diagram.)

9. প্রমাণ কর যে আপতিত রশ্মির দিক স্থির থাকিলে দর্পণ যতটা ঘুরানো যায়, প্রতিফলিত রশ্মি তাহার দ্বিগুণ ঘুরিয়া যায়।

(Prove that when the direction of the incident light remains fixed, the reflected ray turns through twice the angle through which the mirror is turned.)

10. প্রমাণ কর যে (a) কোন ব্যক্তি সমতল দর্পণ হইতে যে বেগে দূরে সরিয়া যায়, তাহার দ্বিগুণ বেগে সে তাহার প্রতিবিম্ব হইতে দূরে যাইতে থাকে। (b) কোন ব্যক্তি তাহার সম্পূর্ণ অবয়বের প্রতিবিম্ব দেখিতে হইলে অন্তত তাহার নিজের উচ্চতার অর্ধেক দৈর্ঘ্যের আয়না প্রয়োজন।

ঐ আয়না যথেচ্ছ রাখিলেই চলিবে কি ? তোমার উত্তরের কারণ দর্শাও।

(Prove that (*a*) When a man recedes from a mirror at a certain rate, he recedes from his image at twice that rate. (*b*) A man requires a mirror of at least half of his height for seeing his full image in it.

May this mirror be placed in any way we like with respect to the observer ? Give reason for your answer.)

Additional Numerical Problems

1. Sunlight enters through a hole in the vertical eastern wall of a room whose breadth is 18 ft. It falls on a mirror on the floor, the point of incidence on the mirror being 6 ft. from the western wall and the angle of incidence being 60°. It is then reflected a second time, the first reflected light being incident on a mirror on the western wall. Show that the final reflected light is parallel to the incident light and strikes the eastern wall at double the height of that hole. What is the height of the hole from the floor ?

What is the height of the point at which light is incident on the vertical mirror? [*Ans.* $4\sqrt{3}$ ft. ; $2\sqrt{3}$ ft.]

2. A boy places a mirror on the floor of the room near the edge of an eastern varandha and gets a reflected sun-beam strike the eastern wall at a height of 8 ft. He then turns the mirror in such a way as to lower down the reflected patch on the wall by half the original height. Find by how much he turned the mirror, if the point of incidence on the mirrot was 4 ft. from the foot of the wall. (Given tan 63°30′=2) [*Ans.* 9°15′]

3. A screen is placed vertically on a table and a mirror is placed horizontally on it ; through a hole in the screen at a height of 81 cm. light is made incident on the mirror and the reflected light reaches a certain point on the wall. If the source of light is lowered such that the incidence now takes place through a hole at a height which is $\frac{1}{3}$rd the original, by how much should the mirror be turned so as to throw the patch of light at the same position of the wall, if the distance of the point at which light is incident is 27 cm. from the screen, in both the cases. (Given tan 71°35′=3.) [*Ans.* 13°18′]

Public Examination Questions

1. State the laws of reflection of light.

Show that the rays from a luminous point falling upon a plane mirror, proceed after reflection, as though they diverge from a single point.

What is that point called ? What is its position and nature ?

When a plane mirror is rotated through an angle, show that a ray reflected therefrom, is turned through an angle twice as much. (H. S. 1960)

2. How would you experimentally verify the laws of reflection ?

Describe an experiment to show that the imiage of a luminous point formed by a plane mirror, is as far behind the mirror as the luminous point is in front.

What deviation is produced by reflection at a plane surface when the angle of incidence is 60° ? Explain by a diagram. [*Ans.* 60°] (H. S. 1960)

3. The image formed by a single reflection at a plane mirror is said to be "laterally inverted." Explain this.

If a man runs towards a plane mirror at the rate of 5 ft./sec., at what rate will he approach his image ?

Calculate the minimum size of a plane mirror, fixed on the wall of a room in which an observer can see the full size images of himself. (H. S. Comp. 1960)

4. Two mirrors are inclined to each other at an angle of 90°. Draw a diagram and show how multiple image are formed.

Prove that a man can see the whole of his person in a mirror, the length of which is half of his own height. (H. S. Comp. 1961)

5. State the laws of reflection of light at a plane surface.

Show by means of a diagram, how a man, height 6 ft. could place a mirror,

length 3 ft. against a vertical wall, so that he could see a full-sized image of himself in it.

5. Explain with a diagram the action of a periscope, for what purpose is it used? (H. S. 1962)

6. Show that when a plane mirror is rotated, a reflected beam is turned through twice the angle through which the mirror is turned. (C. U. I. Sc 1951)

7. State the laws of reflection of light ; how would you verify them experimentally?

What is the relation between the turning of a mirror and the ray of light reflected from it ?

A man running towards a plane mirror at the rate of 5 ft. per second approaches his image at the rate of 10 ft. per sec. Explain (C. U. I. Sc. 1942)

8. A large plane mirror stands vertically at a certain distance from a man who views his reflection from it ; compare the rate of motion of the image with the rate of motion :—

(*a*) Of the man when the man moves towards the mirror.

(*b*) Of the mirror when the mirror is moved towards the stationary man.

(C. U. I. Sc. 1946)

9. State the laws of reflection of light. Show by means of a diagram two adjacent walls of a rectangular room are mirror surfaces an observe will see exactly three images of an object in the room.

How many images are seen if two opposite walls are mirror surfaces ?

(C. U. I. Sc. 1957)

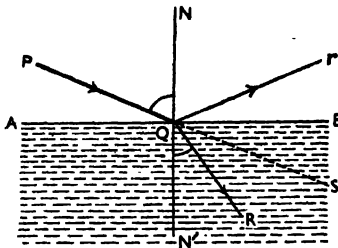
তৃতীয় অধ্যায়

আলোকের প্রতিসরণ

প্রথম পাঠ

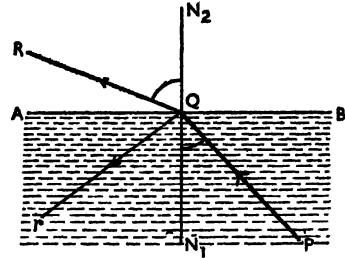
3.1. প্রতিসরণ (Refraction) ঃ

যে কোন সমসত্ব (homogeneous) স্বচ্ছ পদার্থের ভিতর দিয়া আলোক সরল-রেখায় চলে। কিন্তু দুই স্বচ্ছ পদার্থের মিলন-তলে আসিয়া এক স্বচ্ছ পদার্থ হইতে অন্য স্বচ্ছ পদার্থে যাইবার কালে আলোকের গতিপথ হঠাৎ বাঁকিয়া যায়। এইভাবে দুই স্বচ্ছ পদার্থের মিলন-তলে আসিয়া আলোক-রশ্মির হঠাৎ বাঁকিয়া যাওয়াকে প্রতিসরণ বলে। মনে রাখিতে হইবে প্রতিসরণের সময়েও ঐ মিলনতলে আলোকের এক অংশ প্রতিফলিত হইয়া আপতিত রশ্মি যে মাধ্যমের ভিতর দিয়া আসিয়াছে সেই মাধ্যমের ভিতর দিয়া যায় এবং এক অংশ শোষিত হয়।

বায়ু হইতে জলে যাইবার কালে আলোক কিভাবে প্রতিসরিত হয় তাহা চিত্রে দেখানো হইল ; জল না থাকিলে আপতিত রশ্মি PQS এই সরলরেখায় চলিয়া যাইত। কিন্তু বায়ুর পর জল থাকায় জলের সমতলে আসিয়া আলোক বাঁকিয়া গিয়া QR পথে চলিতেছে, অর্থাৎ রশ্মিটি জলে প্রবেশ করিয়া অভিলম্ব NQN′ রেখার নিকটে চলিয়া আসিয়াছে। আর আলোর এক অংশ প্রতিফলনের নিয়ম মানিয়া Qr রেখায় বায়ুতে প্রতিফলিত হইয়াছে।

বায়ু হইতে জলে প্রতিসরণ—PQ বায়ুতে আপতিত রশ্মি ; QR জলে প্রতিসরিত রশ্মি SQR কোণ প্রতিসরণের ফলে আলোক রশ্মির বিচ্যুতি (Deviation)

জলের মধ্যে আলোকের গতিপথ পরিবর্তিত হইয়া আলোক-রশ্মি যে QR রেখায় চলিতেছে তাহাকে **প্রতিসরিত রশ্মি** বলে।*

যদি আলোক-রশ্মি জল হইতে বায়ুর দিকে আসে তবে PQ আপতিত রশ্মি হইলে QR প্রতিসরিত রশ্মি এবং Qr, প্রতিফলিত রশ্মি পাওয়া যাইবে। প্রতিসরিত রশ্মি এস্থলে অভিলম্ব হইতে দূরের দিকে বাঁকিয়া যাইবে।

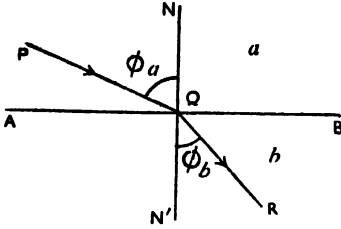
কোন স্বচ্ছ ঘন বস্তু হইতে হালকা বস্তুতে (from optically denser to optically rarer)** আলোক যাইবার কালে প্রতিসরিত রশ্মি অভিলম্ব হইতে দূরের দিকে বাঁকিয়া যায় এবং হালকা বস্তু হইতে ঘন বস্তুতে আলোক চলিবার সময় প্রতিসরিত রশ্মি অভিলম্বের দিকে বাঁকিয়া যায়।

জল হইতে বায়ুতে প্রতিসরণ ; PQ আপতিত রশ্মি, QR বায়ুতে প্রতিসরিত রশ্মি, Qr জলে প্রতিফলিত রশ্মি। চিত্রে PQN_1 আপাতন কোণ এবং RQN_2 প্রতিসরণ কোণ।

* প্রতিসরণের ক্ষেত্রে অভিলম্ব (normal) আপতিত রশ্মি (incident ray) এবং আপাতন কোণের (angle of incidence) অর্থ প্রতিফলনের অনুরূপ। আলোক প্রতিসরিত হওয়ার পর দ্বিতীয় মাধ্যমে যে সরলরেখায় চলে তাহাকে প্রতিসরিত রশ্মি বলা হয়। প্রতিসরণ কোণ বলিলে আপাতন বিন্দুতে অঙ্কিত অভিলম্ব এবং প্রতিসরিত রশ্মির মধ্যস্থ কোণকে বোঝায়।

** আপেক্ষিক গুরুত্বের বিচারে তেল জলের চেয়ে হাল্কা পদার্থ, কিন্তু আলোক প্রতিসরণের ব্যাপারে তেল জল অপেক্ষা ঘন মাধ্যম।

3.11. প্রতিসরণের নিয়ম ঃ

প্রথম নিয়ম—আপতিত রশ্মি, প্রতিসরিত রশ্মি এবং দুই মাধ্যমের মিলন-তলে আপাতন বিন্দুতে অঙ্কিত অভিলম্ব একই সমতলে অবস্থান করে।

দ্বিতীয় নিয়ম—নির্দিষ্ট দুই মাধ্যমের পক্ষে নির্দিষ্ট বর্ণের আলোক-রশ্মির আপাতন কোণের sine প্রতিসরণ কোণের sine এর সহিত সর্বদা এক নির্দিষ্ট অনুপাত বজায় রাখে।

আপাতন কোণ ও প্রতিসরণ কোণের সম্পর্ক

দ্বিতীয় নিয়মকে Snell's law বলে। ইহার অর্থ এইরূপ—

মনে কর AB দুই স্বচ্ছ মাধ্যমের মিলন-তল এবং উপরের মাধ্যম a ও নীচের মাধ্যম b.

a মাধ্যমে আপতিত রশ্মি এবং অভিলম্বের মধ্যস্থ আপাতন কোণ$=\phi_a$
b মাধ্যমে প্রতিসরিত রশ্মি এবং অভিলম্বের মধ্যস্থ প্রতিসরণ কোণ$=\phi_b$; তাহা হইলে Snell's law অনুযায়ী

$$\frac{\sin \phi_a}{\sin \phi_b} = \text{ধ্রুবক}$$

ঐ ধ্রুবককে সাধারণত গ্রীক অক্ষর μ দ্বারা প্রকাশ করা হয়। ইহাকে ঐ দুই মাধ্যমের **আপেক্ষিক প্রতিসরাঙ্ক** (Relative Refractive index) বলে।

$$\therefore \frac{\sin \phi_a}{\sin \phi_b} = {}_a\mu_b.$$

ইহার অর্থ এই যে আলোক যখন a মাধ্যম হইতে b মাধ্যমে যায় তখন উহাদের আপেক্ষিক প্রতিসরাঙ্ক ${}_a\mu_b$,

আলোকের পথ বিপরীত ক্রমে চলিতে পারে। সুতরাং b মাধ্যমে RQ রেখায় আলোক আপতিত হইলে a মাধমে QP রেখায় আলোক প্রতিসরিত হইবে। ঐ সময় ϕ_b, b মাধ্যমে আপাতন কোণ এবং ϕ_a, a মাধ্যমে প্রতিসরণ কোণ হইবে। এবং আমরা লিখিব, $\frac{\sin \phi_b}{\sin \phi_a} = {}_b\mu_a$

সুতরাং ${}_b\mu_a = \frac{1}{{}_a\mu_b}$ ${}_a\mu_b \times {}_b\mu_a = 1.$

যদি আলোক হাল্কা মাধ্যম বায়ু হইতে ঘন মাধ্যম জলের দিকে চলে

তার ঐ μর মান $\frac{4}{3}$ আর ঘন মাধ্যম জল হইতে হাল্‌কা মাধ্যম বায়ুর দিকে গেলে $\mu=\frac{3}{4}$ হয়।

প্রতিসরণে আলোক-রশ্মির বিচ্যুতি (Deviation due to refraction)

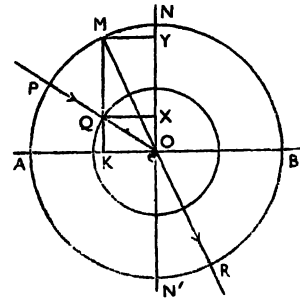
44 পৃষ্ঠার চিত্র হইতে দেখা যাইবে যে PQS রেখায় যে আলোক-রশ্মি চলিতেছিল তাহা দুই মাধ্যমের মিলন-তল AB-তে আসিয়া বাঁকিয়া QR রেখায় চলিয়াছে। আপাতন কোণ ϕ এবং প্রতিসরণ কোণ ϕ' হইলে প্রতিসরণের ফলে আলোক-রশ্মি যতটা বাঁকিয়া গিয়াছে তাহার মান $\angle SQN' - \angle RQN' = (\phi - \phi')$; ইহাকে আলোক-রশ্মির বিচ্যুতি বলে।

যদিও আপাতন কোণ বড় হইলে প্রতিসরণ কোণও বড় হয় তথাপি দেখানো যায় যে আপাতন কোণ বাড়িলে বিচ্যুতি বাড়ে।

প্রতিসরিত রশ্মি অঙ্কনের নিয়ম—

AB দুই মাধ্যমের মিলন-তল। PO আপতিত রশ্মি।

Oকে কেন্দ্র করিয়া যে কোন ব্যাসার্ধ OP লইয়া একটি বৃত্ত আঁক। চিত্রে OP ঐ বৃত্তের ব্যাসার্ধ।

OPর দূরত্বকে μ দ্বারা ভাগ কর। (যেমন, যদি AB বায়ু এবং কাঁচের মিলন-তল হয় তবে OPকে $\frac{3}{2}$ দ্বারা ভাগ করিতে হইবে, অর্থাৎ, OP এর $\frac{2}{3}$ অংশ লইতে হইবে। এই চিত্রে μর মান $\frac{3}{2}$ ধরা হয় নাই।) ঐ ভাগফল যত দীর্ঘ হইবে তত ব্যাসার্ধ লইয়া Oকে কেন্দ্র করিয়া আর একটি বৃত্ত আঁক। ঐ বৃত্ত যেন POকে Q বিন্দুতে ছেদ করিল। Q হইতে ABর উপর QK লম্বপাত কর। KQ বর্ধিত করিয়া দাও। উহা যেন প্রথম বৃত্তকে M বিন্দুতে ছেদ করিল। Mএর ভিতর দিয়া MOR ব্যাস আঁক। OR প্রতিসরিত রশ্মি হইবে।

প্রতিসরিত রশ্মি অঙ্কনের প্রণালী

প্রমাণ। M এবং Q হইতে ONএর উপর MY এবং QX লম্বপাত কর।

মনে কর $\angle PON = \phi$, আপাতন কোণ

$= QOX$

$\angle RON' = \phi'$ প্রতিসরণ কোণ

$= \angle MON = MOY.$

$$\sin\phi = \sin QOX = \frac{QX}{OQ}; \quad \sin\phi' = \sin MOY = \frac{MY}{OM}$$

$$\frac{\sin\phi}{\sin\phi'} = \frac{OM}{OQ} \qquad \because \quad QX = MY$$

$$= \frac{OP}{OQ} = \mu.$$

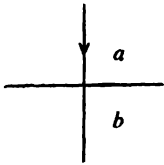
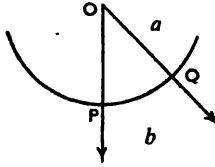
দ্রষ্টব্য—যদি আলোক-রশ্মি দুই মাধ্যমের মিলন-তলে লম্বভাবে পতিত হয়, তবে আলোক-রশ্মি না বাঁকিয়াই প্রতিসরিত হইবে।

যদি দুই মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক μ হয় এবং আপাতন কোণ ও প্রতিসরণ কোণ যথাক্রমে ϕ এবং ϕ' হয় তবে $\frac{\sin\phi}{\sin\phi'} = \mu$

$$\therefore \quad \sin\phi' = \frac{\sin\phi}{\mu}$$

(i)

সমতলে লম্ব ভাবে আপতিত রশ্মি কোন দিকে না বাঁকিয়া a মাধ্যম হইতে b মাধ্যমে আসিবে

(ii)

বৃত্তাকার বক্রতলে যে কোন ব্যাসার্ধের পথ ধরিয়া যে রশ্মি আপতিত হইবে তাহা কোন দিকে না বাঁকিয়া a হইতে b মাধ্যমে চলিয়া আসিবে

আবার আলোক লম্বভাবে আপতিত হইলে $\phi = 0$ হইবে, এবং তখন $\sin\phi' = 0$. অর্থাৎ $\phi' = 0$.

সুতরাং এই ক্ষেত্রে লম্ব-ভাবে পতিত আলোক-রশ্মি কোন দিকে না বাঁকিয়াই অন্য মাধ্যমে প্রবেশ করিবে।

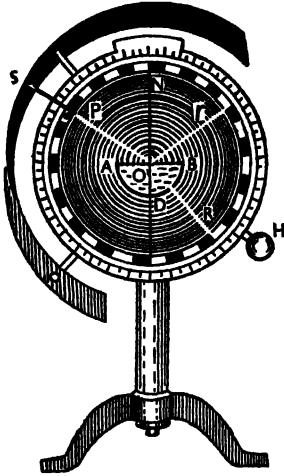
যদি দুই মাধ্যমের বাঁকানো মিলন-তল বৃত্তাকার* হয় এবং ঐ বৃত্তাকার অংশের কেন্দ্র হইতে ব্যাসার্ধের দিকে আলোক ঐ বাঁকানো তলের উপর পতিত হয় তবে ঐ ব্যাসার্ধ ঐ তলের সহিত আপাতন বিন্দুতে সমকোণ উৎপন্ন করিবে। সুতরাং কেন্দ্রগামী আলোক-রশ্মি ঐ বৃত্তাকারে বাঁকানো তল হইতে একটুও না বাঁকিয়া বরাবর প্রতিসরিত হইবে।

প্রতিফলনের নিয়ম পরীক্ষা ; হার্টল্-এর অপটিক্যাল ডিস্ক দ্বারা

হার্টল-এর **অপটিক্যাল ডিস্ক** পূর্বে বর্ণিত হইয়াছে। প্রতিসরণের নিয়ম পরীক্ষার জন্য ঐ আলোকচক্রে অল্প পুরু কাঁচের সিলিণ্ডারের লম্বালম্বি অর্ধেকের এক অংশ সংযুক্ত করিতে হইবে। সম্মুখ হইতে দেখিলে ঐ কাঁচখণ্ডকে অর্ধবৃত্তাকার দেখা যাইবে।

* যেমন cylinder এর বাঁকানো অংশের ন্যায় (অথবা গোলকের অংশের ন্যায় হইলেও চলিবে)।

ঐ অর্ধবৃত্তাকার অংশের কেন্দ্র আলোকচক্রের কেন্দ্রে স্থাপন করিতে হইবে এবং অর্ধবৃত্তের ব্যাস আলোকচক্রের 90°-90° রেখার সহিত মিলিয়া বসিবে।

যথানিয়মে ধাতব পাতের ছিদ্রের মধ্য দিয়া সূর্যালোক আনিয়া কেন্দ্রে আপতিত করিলে উহা কাঁচের মধ্যে প্রতিসরিত হইয়া সরলরেখা ক্রমে কোন এক ব্যাসার্ধ ধরিয়া চলিবে এবং কাঁচের বাঁকানো অংশ বৃত্তাকার বলিয়া কাঁচ হইতে বায়ুতে নির্গত হইবার সময় না বাঁকিয়া সোজা নির্গত হইবে। ঐ প্রতিসরিত রশ্মি নীচের 0 ডিগ্রি দাগ হইতে যত ডিগ্রি দূরে থাকিবে উহাই প্রতিসরণ কোণ। আপাতন কোণ পরের আপতিত রশ্মি এবং অভিলম্বের মধ্যের কোণ। কোণগুলির মান নির্ণয় করিয়া লিখিয়া রাখ। ডিস্কটি ঘুরাইলে আপাতন কোণ ও প্রতিসরণ কোণের মান পরিবর্তন হইবে। এই ভাবে এক একটি আপাতন কোণের সঙ্গের প্রতিসরণ কোণ লিখিয়া রাখ।

হার্টেল-এর অপটিক্যাল ডিস্ক দ্বারা প্রতিসরণের নিয়ম প্রমাণ; SO আপতিত রশ্মি, OR প্রতিসরিত রশ্মি, ON অভিলম্ব

sine এর মান table হইতে লইয়া $\frac{\sin \phi}{\sin \phi'}$ নির্ণয় করিলে প্রতিক্ষেত্রে ভাগফল একই। ইহাতে Snell এর নিয়ম প্রমাণিত হইল।

প্রথম নিয়ম প্রমাণের জন্য ইহা দেখিলেই যথেষ্ট হইবে যে আপতিত রশ্মি এবং প্রতিফলিত রশ্মি হার্টল-এর ডিস্কের সমতল ঘেঁষিয়া যাইতেছে, সেই সমতলে 0°-0° রেখাটি কাঁচখণ্ডের সমতলে অভিলম্ব। সুতরাং প্রথম নিয়মও প্রমাণিত হইল।

প্রশ্ন

1. প্রতিসরণ বলিলে কি বোঝায়? প্রতিসরণের নিয়মগুলি লিখ এবং হার্টল-এর অপটিক্যাল ডিস্কের সাহায্যে কিভাবে ঐ নিয়মগুলি প্রমাণ করা যায় বর্ণনা কর।

(What is meant by refraction? Write down the laws of refraction and state how would you prove the law by Hartle's optical disc.)

2. আপেক্ষিক প্রতিসরাঙ্কের সংজ্ঞা লিখ। ইহা কিভাবে প্রকাশিত হয়?

প্রতিসরণের ক্ষেত্রে ঘন মাধ্যম ও হাল্কা মাধ্যম বলিলে ঘন ও হাল্কা যে অর্থে ব্যবহৃত হয় আপেক্ষিক গুরুত্বের ক্ষেত্রে সেই অর্থে ব্যবহৃত হয় না। ইহার একটি উদাহরণ দাও।

আলোক বায়ু হইতে জলে এবং বায়ু হইতে তেলে প্রতিসরিত হইতেছে। উভয় ক্ষেত্রে আপাতন কোণ সমান রাখিয়া প্রতিসরণ কোণ চিত্রে মোটামুটিভাবে দেখাও।

(Define relative refractive index. How is it expressed ?

Give an instance to show that the terms "denser medium" and "rarer medium" are not used in optics in the same sense as in specific gravity.

Light is being refracted from (i) air to water and (ii) air to oil.

Keeping the angle of incidence same in both cases, draw the path of the refracted rays roughly.)

3. প্রতিসরিত রশ্মি আঁকিবার প্রণালী প্রমাণসহ ব্যাখা কর।

(Prove the geometrical construction for the refracted ray.)

4. হার্টল-এর অপ্‌টিক্যাল ডিস্কের পরীক্ষায় চৌপলাকৃতি কাঁচের ব্লক ব্যবহার করিলে প্রতিসরণের নিয়ম প্রমাণে কি অসুবিধা হইবে ?

(What will be the difficulty in proving the laws of refraction by Hartle's optical disc if a rectangular block of glass be used ?)

দ্বিতীয় পাঠ

3.2. প্রতিসরাঙ্ক (Refractive Index) :

আপেক্ষিক প্রতিসরাঙ্ক (Relative Refractive index) এবং **পরম প্রতিসরাঙ্ক** (Absolute Refractive index)—এখন বায়ু ও জলের পরিবর্তে আমরা যে কোন দুই মাধ্যম a ও b ধরিতেছি।

যদি আলোক a মাধ্যম হইতে b মাধ্যমের দিকে চলে এবং a মাধ্যমে আলোক-রশ্মি অভিলম্বের সহিত ϕ_a কোণ উৎপন্ন করে (আপাতন কোণ) এবং b মাধ্যমে আলোক-রশ্মি ϕ_b কোণ (প্রতিসরণ কোণ) উৎপন্ন করে তবে

$$\frac{\sin \phi_a}{\sin \phi_b} = {}_a\mu_b = a \text{ এবং } b \text{ মাধ্যমের আপেক্ষিক প্রতিসরাঙ্ক} \quad \cdots \quad (1)$$

(Relative refractive index between a and b.)

এই ধ্রুবক μ-র সঙ্গে আগে a এবং পরে b লিখিয়া আমরা ইহাই প্রকাশ করিতে চাই যে আলোক a মাধ্যম হইতে bর দিকে চলিতেছে।

যদি আলোক b মাধ্যম হইতে aর দিকে চলে তবে যেহেতু আলোক-রশ্মি বিপরীতক্রমে চলিতে পারে (reversible) সেই কারণে b মাধ্যমে ϕ_b আপাতন কোণ হইবে এবং a মাধ্যমে ϕ_a প্রতিসরণ কোণ হইবে এবং আমরা পাইব

$$\frac{\sin \phi_b}{\sin \phi_a} = {}_b\mu_a \quad \cdots \quad \cdots \quad (2)$$

$$\therefore \quad {}_a\mu_b = \frac{1}{{}_b\mu_a}$$

উদাহরণস্বরূপ বলা যায় যে বায়ু হইতে জলে আলোক আসিবার কালে প্রতিসরাঙ্ক $\frac{4}{3} = {}_a\mu_w$. কিন্তু আলোক জল হইতে বায়ুতে গেলে প্রতিসরাঙ্ক $\frac{3}{4} = {}_w\mu_a$.

পরম প্রতিসরাঙ্ক (Absolute Refractive index)—শূন্যস্থান (vacuum) হইতে আলোক যখন কোন মাধ্যমে প্রবেশ করে তখন ঐ প্রতিসরাঙ্ককে **পরম প্রতিসরাঙ্ক** বলা হয়। সাধারণ কাজের জন্য শূন্য স্থানের পরিবর্তে বায়ুকে ধরিলে বিশেষ ভুল হয় না।

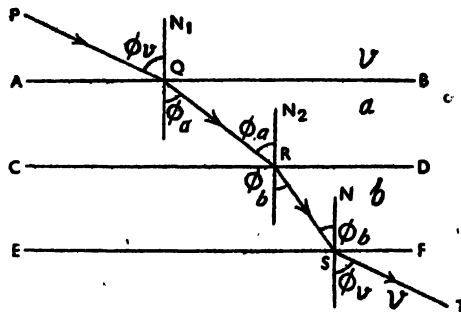
যদি শূন্যস্থান হইতে a, b অথবা c মাধ্যমে আলোক প্রবেশ করে তবে

$_v\mu_a = a$ মাধ্যমের পরম প্রতিসরাঙ্ক

$_v\mu_b = b$ " " "

$_v\mu_c = c$ " " " , ইত্যাদি।

একটি পরীক্ষিত সত্য :

সমান্তরাল তল দ্বারা সীমাবদ্ধ দুই স্বচ্ছ বস্তু a, b পর পর রাখা হইয়াছে। v মাধ্যমের ভিতর দিয়া আলোক আসিয়া উহাদের মধ্যে aর সমতলে পতিত হইয়া পর পর প্রতিসরিত হইয়া আবার শেষ পর্যন্ত v মাধ্যমেই নির্গত হইয়াছে। এইরূপ ক্ষেত্রে পরীক্ষা দ্বারা দেখা গিয়াছে যে আপতিত রশ্মি এবং সর্বশেষ নির্গত রশ্মি সমান্তরাল হইয়া থাকে। চিত্রে PQ এবং ST সমান্তরাল। সুতরাং নির্গত রশ্মির প্রতিসরিত কোণ ϕ_v এর সমান। যদি দুইটির পরিবর্তে আরও অনেকগুলি সমান্তরাল

AB, CD এবং EF সমান্তরাল v—শূন্য স্থান, AB এবং CD-র মধ্যস্থ মাধ্যম a, CD এবং EF এর মধ্যস্থ মাধ্যম b, PQ আপতিত রশ্মি ST নির্গত রশ্মির সহিত সমান্তরাল

তল দ্বারা সীমাবদ্ধ স্বচ্ছ মাধ্যম পর পর থাকে কিন্তু প্রথম ও শেষ মাধ্যম একই (v) হয় তথাপি প্রথম আপতিত রশ্মি এবং সর্বশেষের নির্গত রশ্মি সমান্তরাল হইবে।

বিভিন্ন মাধ্যমে আপাতন ও প্রতিসরণ কোণগুলির মানচিত্রে দেখানো হইল। v মাধ্যমকে শূন্য স্থান (অথবা বায়ু) ধরা হইল।

$$\text{এক্ষণে}\quad \frac{\sin\phi_v}{\sin\phi_a} = {}_v\mu_a$$

$$\frac{\sin\phi_a}{\sin\phi_b} = {}_a\mu_b$$

$$\frac{\sin\phi_b}{\sin\phi_v} = {}_b\mu_v$$

ঐ সকল সমীকরণের বাম পক্ষগুলির গুণফল দক্ষিণ পক্ষগুলির গুণফলের সমান হইবে।

$$\frac{\sin\phi_v}{\sin\phi_a}\times\frac{\sin\phi_a}{\sin\phi_b}\times\frac{\sin\phi_b}{\sin\phi_v} = {}_v\mu_a \times {}_a\mu_b \times {}_b\mu_v$$

অথবা $1 = {}_v\mu_a \times {}_a\mu_b \times {}_b\mu_v$

$$\therefore\quad {}_a\mu_b = \frac{1}{{}_v\mu_a\ {}_b\mu_v}$$

$$= \frac{1}{{}_v\mu_a}\cdot\frac{1}{{}_b\mu_v}$$

$$= \frac{{}_v\mu_b}{{}_v\mu_a}$$

কিন্তু ${}_a\mu_b$, a এবং b মাধ্যমের আপেক্ষিক প্রতিসরাঙ্ক—যখন আলোক a হইতে bর দিকে চলে।

${}_v\mu_b = b$ মাধ্যমের পরম প্রতিসরাঙ্ক

${}_v\mu_a = a$ মাধ্যমের পরম প্রতিসরাঙ্ক

$$\therefore\quad a \text{ হইতে } b\text{র আপেক্ষিক প্রতিসরাঙ্ক} = \frac{b \text{ মাধ্যমের পরম প্রতিসরাঙ্ক}}{a \text{ মাধ্যমের পরম প্রতিসরাঙ্ক}}$$

উদাহরণ—জলের পরম প্রতিসরাঙ্ক $\frac{4}{3}$ এবং কাঁচের পরম প্রতিসরাঙ্ক $\frac{3}{2}$. হইতে কাঁচে প্রতিসরণের সময় উহাদের আপেক্ষিক প্রতিসরাঙ্ক কত হইবে ?

$$\text{জল হইতে কাঁচে প্রতিসরাঙ্ক} = \frac{\text{কাঁচের পরম প্রতিসরাঙ্ক}}{\text{জলের পরম প্রতিসরাঙ্ক}}$$

$$= \frac{\frac{3}{2}}{\frac{4}{3}} = \frac{9}{8}$$

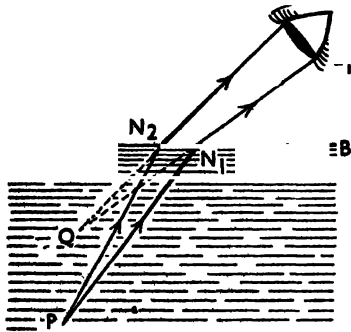
লক্ষ্য কর, আলোক যখন জল হইতে কাঁচে যাইতেছে তখন ডান দিকের ভগ্নাংশে কাঁচের পরম প্রতিসরাঙ্ক উপরে এবং জলের পরম প্রতিসরাঙ্ক নীচে লেখা হইতেছে।

সাধারণত প্রতিসরাঙ্ক বলিলে আমরা পরম প্রতিসরাঙ্ক বুঝিয়া থাকি। বার বার পরম (absolute) কথা লিখা অনাবশ্যক।

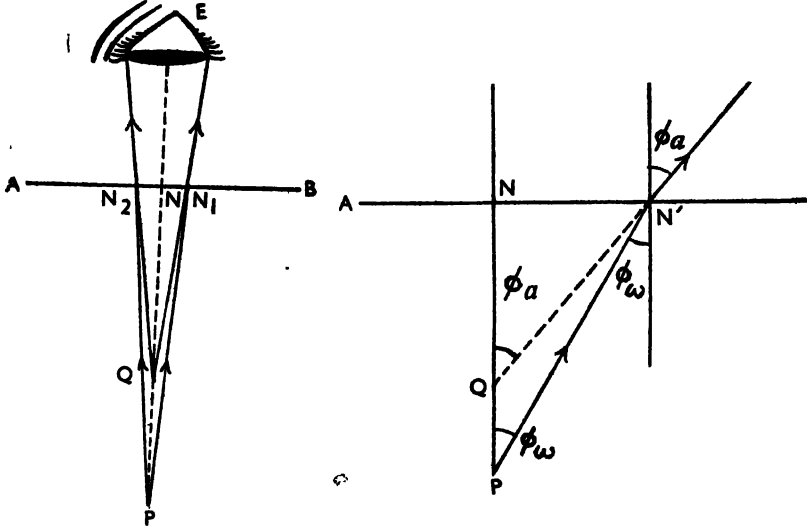
8.21. সমতলে প্রতিসরণ জনিত প্রতিবিম্ব :

আমাদের চোখ বায়ুতে থাকে এবং আমরা কোন স্বচ্ছ কঠিন বা তরল পদার্থের ভিতর দিয়া কখন কখন কোন বস্তু দেখিয়া থাকি। ঐ সকল ক্ষেত্রে আমরা সর্বদাই আসল বস্তুটি দেখি না, দেখি বস্তুর অসদ্‌বিম্ব।

ভাল করিয়া মাজা পরিষ্কার কাঁসার গ্লাসের তলাটা দেখিয়া রাখ। এখন উহাতে জল ঢাল, দেখিবে তলাটা একটু উপরে দেখা যাইতেছে। কাগজের লেখার উপর একটি চৌপলাকৃতি পেপারওয়েট বসাও, দেখিবে লেখাগুলি একটু উপরে দেখা যাইতেছে। উভয় ক্ষেত্রেই আমরা আসল বস্তু দেখি না, প্রতিবিম্ব দেখি। কিভাবে ঐ প্রতিবিম্ব দেখা যায় তাহা নীচের চিত্র ও ব্যাখ্যা হইতে বোঝা যাইবে।

চিত্রে P জলের মধ্যে একটি উজ্জ্বল বিন্দুবৎ উৎস। উহা হইতে আলোক-রশ্মি অপসারী গুচ্ছে সকল দিকে ছড়াইয়া যাইতেছে। PN_1 রশ্মি জল ও বায়ুর মিলন-তলে আসিয়া N_1 বিন্দুতে, অঙ্কিত অভিলম্ব হইতে দূরের দিকে সরিয়া N_1E_1 রেখায় প্রতিসরিত হইতেছে। অনুরূপভাবে PN_2 আপতিত রশ্মি N_2 বিন্দুতে অভিলম্ব হইতে দূরের দিকে প্রতিসরিত হইতেছে। ঐ প্রতিসরিত রশ্মিগুলি দর্শকের চোখে পড়ায় দর্শক ইহাদের বর্ধিত অংশ যে Q বিন্দুতে মিলিত হইতেছে সেই স্থানে P বিন্দুর একটি অলীক প্রতিবিম্ব দেখিবেন। ঐ অলীক প্রতিবিম্ব Q, P-র অবস্থানের চেয়ে নিকটে দেখা যাইবে। জলের মধ্যে যত তির্যকভাবে তাকানো যাইবে নীচের বিন্দুর প্রতিবিম্ব ততই উপরে দেখা যাইবে এবং **চোখ যে দিকে থাকে সেই দিকে খানিকটা সরিয়া আসিবে।**

সমতলে প্রতিসরণের ফলে প্রতিবিম্ব গঠন

যদি জলের মধ্যে লম্বভাবে তাকানো যায় তবে প্রতিবিম্বকে বেশী উপরে উঠিতে দেখা যায় না এবং প্রতিবিম্ব কোন দিকে না সরিয়া বরাবর P বিন্দুর উপরে দেখা যাইবে।

নীচের প্রথম চিত্রে অপসারী আলোকগুচ্ছ কিরূপে P বিন্দু হইতে নির্গত হইয়া প্রায় সোজাভাবে উপর দিকে প্রতিসরিত হইয়া দর্শকের চোখে পড়ে এবং ফলে যেরূপে Q বিন্দুতে প্রতিবিম্ব গঠিত হয় তাহা দেখানো হইয়াছে। বুঝিবার সুবিধার

(*a*) জলের মধ্যে লম্বভাবে তাকাইলে P বিন্দুর প্রতিবিম্ব Q বিন্দুতে P-র বরাবর উপরে দেখা যাইবে

(*b*) ঘন মাধ্যম হইতে হাল্‌কা মাধ্যমে প্রতিসরণের ফলে ঘন মাধ্যমে প্রতিবিম্ব। P বস্তু, Q প্রতিবিম্ব

জন্য প্রকৃতপক্ষে খুব সরু আলোকগুচ্ছ PN_1N_2-র অর্ধেক অংশকে খুব বড় করিয়া আঁকিয়া (*b*) চিত্রে দেখানো হইল। মনে রাখিতে হইবে N_2, N এবং N_1 বিন্দুগুলি পরস্পরের খুবই নিকটে, কারণ লম্বভাবে তাকাইলে অতি সরু একটি আলোকগুচ্ছই চোখের মণির মধ্যে প্রবেশ করিতে পারিবে।

(*b*) চিত্রে P জলের মধ্যস্থ উজ্জ্বল বিন্দু এবং জলের মধ্যে আপাতন কোণ ϕ_w এবং বায়ুতে প্রতিসরণ কোণ ϕ_a.

$$\frac{\sin \phi_w}{\sin \phi_a} = {}_w\mu_a$$

এবং $$\frac{\sin \phi_a}{\sin \phi_w} = {}_a\mu_w$$

$= \mu$; জলের প্রতিসরাঙ্ক; (আলোক বায়ু হইতে জলে যাইবার কালে)

এখন, QN′N ত্রিভুজে $\sin \phi_a = \frac{N'N}{N'Q}$

PN′N ত্রিভুজে $\sin \phi_w = \frac{N'N}{PN'}$

$\therefore \quad \frac{\sin \phi_a}{\sin \phi_w} = \frac{PN'}{QN'}$

যদি আমরা (*a*) চিত্রের ন্যায় প্রায় লম্বভাবে P হইতে আপতিত রশ্মির কথা ভাবি তবে N′ বিন্দুকে N বিন্দুর খুবই নিকটে মনে করিতে হইবে। সেইজন্য আমরা লিখিতে পারিব—

$\mu = \frac{PN}{QN}$; যেহেতু N′ বিন্দু N বিন্দুর খুবই নিকটে

$\therefore \quad \mu = \frac{\text{প্রকৃত গভীরতা}}{\text{দৃশ্যতঃ গভীরতা}}$

$= \frac{\text{জলের উপরিতল হইতে বস্তুর গভীরতা}}{\text{জলের উপরিতল হইতে প্রতিবিম্বের গভীরতা}}$

u

অঙ্ক—জলের প্রতিসরাঙ্ক $\frac{4}{3}$; 6 ফুট গভীর চৌবাচ্চা জলপূর্ণ থাকিলে উপর হইতে লম্বভাবে দৃষ্টিপাত করিলে চৌবাচ্চার তলদেশ কতটা উপরে উঠিয়া গিয়াছে বলিয়া মনে হইবে ?

$\mu = \frac{u}{v}$

এস্থলে u = প্রকৃত গভীরতা = 6 ফুট

v = দৃশ্যতঃ গভীরতা = ? (জ্ঞাতব্য)

$\mu = \frac{4}{3}$.

অথবা $\frac{4}{3} = \frac{6}{v}$ $\quad \therefore \quad v = 4{\cdot}5$ ফুট

দৃশ্যতঃ গভীরতা 4·5 ফুট।

∴ প্রতিবিম্ব যতটা উপরে উঠিয়া গেল বলিয়া মনে হয় তাহার মান

$u - v = (6 - 4{\cdot}5)$ ফুট

$= 1{\cdot}5$ ফুট।

পিন ও কাঁচের ব্লকের সাহায্যে প্রতিসরণের নিয়ম ও কাঁচের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয়—একখানা কাঠের বোর্ডে একখানা কাগজ বোর্ডপিনের

সাহায্যে আঁটিয়া লও। ইহার উপর G কাঁচের ব্লকটি কাগজের মাঝখানে স্থাপন কর। খুব সরু পেন্সিল দ্বারা উহার চারিপাশের সীমারেখা আঁকিয়া রাখ।

পিনের সাহায্যে প্রতিসরণের নিয়ম প্রমাণের ব্যবস্থা চোখ

এখন কাঁচের ব্লকের একপাশে S এবং R দুইটি পিন খাড়াভাবে বসাও যেন R কাঁচের ব্লকের গা ঘেঁষিয়া দাঁড়ায় এবং S এমন স্থানে থাকে যে ঐ দুই পিনের সংযোগকারী সরলরেখা SR তির্যকভাবে কাঁচের সীমায় আসিয়া মিলিত হয়।

এখন কাঁচের ব্লকের অপর দিক হইতে S এবং R পিনের প্রতিবিম্ব দেখিতে চেষ্টা কর। চোখ এমনভাবে স্থাপন কর যেন S এবং Rএর প্রতিবিম্ব ঠিক এক রেখাস্থ বলিয়া মনে হয়। O এবং P এই দুইটি পিন ঐ একই রেখায় পুঁতিয়া দাও—একটি পিন O কাঁচখণ্ডের গা ঘেঁষিয়া বসাইতে হইবে। পিনগুলির অবস্থান পেন্সিল দ্বারা চিহ্নিত কর। পরে S পিনটি তুলিয়া কিন্তু R স্থির রাখিয়া Sকে অন্য এক স্থানে বসাও যাহাতে SR আবার অন্য এক তির্যক রেখা হয়।

প্রতিসরণের নিয়ম প্রমাণ ও প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয়ের জন্য পিন দ্বারা পরীক্ষার পরের অঙ্কন

O এবং P এই উভয় পিন তুলিয়া আবার Sএর নূতন অবস্থানে S এবং R এর প্রতিবিম্ব পূর্বের একই দিক হইতে যে রেখায় দেখা যায় তাহা আগের মত এক রেখায় পিন পুঁতিয়া চিহ্নিত কর। O পিনটি এবারও কাঁচের গা ঘেঁষিয়া বসাইতে হইবে। পিনের অবস্থান কাগজে চিহ্নিত করিয়া লইয়া পিনগুলি এবং কাঁচখণ্ড সরাইয়া লও।

কাগজের সমতলে S_1R রেখায় যে আলোক-রশ্মি কাঁচখণ্ডে আপতিত হইয়াছে উহা কাঁচ হইতে O_1P_1 সরলরেখায় নির্গত হইয়াছে। সেই কারণে O_1P_1 রেখায় S_1 এবং R পিনের প্রতিবিম্ব দেখা গিয়াছে। সুতরাং S_1R রেখায় যে রশ্মি কাঁচে আপতিত হইয়াছে তাহা কাঁচের মধ্যে সরলরেখা ক্রমে চলিয়া RO_1 পথে গিয়াছে। অর্থাৎ, S_1R আপতিত রশ্মির জন্য আমরা কাঁচের মধ্যে RO_1 প্রতিসরিত রশ্মি পাইলাম।

অনুরূপভাবে S_2R-এর জন্য RO_2 প্রতিসরিত রশ্মি হইবে।

এখন Rকে কেন্দ্র করিয়া যথাসম্ভব বড ব্যাসার্ধ লইয়া এমন একটি বৃত্ত আঁক যাহাতে উহার পরিধি কাঁচখণ্ডের নীচের সীমা ছাড়াইয়া না যায়।

S_1R, RO_1 এবং O_1P_1 যোগ কর। অনুরূপভাবে অন্য রশ্মির পথও পরপর যোগ কর।

কাঁচের সীমারেখা AB-র উপর R বিন্দুতে লম্ব টান, উহা AB পৃষ্ঠের R বিন্দুতে অভিলম্ব হইবে। চিত্রে প্রদর্শিত মতে T_1Q_1, T_2Q_2 এবং M_1N_1, M_2N_2 ঐ অভিলম্বের উপর লম্ব টান।

মনে কর, $\angle S_1RQ_1 = \phi_1$ এবং $\angle M_1RN_1 = \phi_1'$

$$\sin \phi_1 = \frac{T_1Q_1}{RT_1} \qquad \sin \phi_1' = \frac{M_1N_1}{RM_1}$$

$$\therefore \frac{\sin \phi_1}{\sin \phi_1'} = \frac{T_1Q_1}{M_1N_1}$$ $\because RT_1 = RM_1$ কারণ উভয়েই অঙ্কিত বৃত্তের ব্যাসার্ধ।

ঐ ভাবে অপর আপতিত এবং প্রতিসরিত রশ্মির জন্য

$$\frac{\sin \phi_2}{\sin \phi_2'} = \frac{T_2Q_2}{M_2N_2}.$$

T_1Q_1 এবং M_1N_1 এর দৈর্ঘ্য ডিভাইডার ও স্কেলের সাহায্যে মাপিয়া ভাগফল নির্ণয় কর। ঐ ভাবে $\frac{T_2Q_2}{M_2N_2}$ ও নির্ণয় কর। দেখা যাইবে যে উভয় ক্ষেত্রে ভাগফল একই হইতেছে। ঐ সংখ্যাই কাঁচের প্রতিসরাঙ্ক। ইহাতে Snell-এর নিয়ম প্রমাণিত হইল এবং প্রতিসরাঙ্কও নির্ণীত হইল।

যেহেতু কাগজের সমতলে পিন ও কাগজের মিলনবিন্দু যোগকারী সরলরেখাগুলিই ঐ সমতলে আলোকের পথ বা রশ্মি নির্দেশ করিতেছে এবং অভিলম্বও ঐ একই সমতলে আছে, সেইজন্য প্রথম নিয়মও সত্য বলিয়া প্রমাণিত হইল।

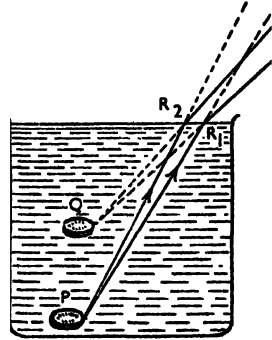
দ্রষ্টব্য—আয়তাকৃতি কাঁচখণ্ডের ভিতর দিয়া আলোক প্রতিসরিত হইলে প্রথম পৃষ্ঠের উপর আপতিত রশ্মি দ্বিতীয় পৃষ্ঠ হইতে নির্গত রশ্মির সহিত সমান্তরাল হয়।

চিত্রের S_1R এবং O_1P_1 রেখাগুলি বর্ধিত করিয়া উহাদের দূরত্ব মাপিয়া ঐ কথা প্রমাণ করা যায়। S_2R এবং O_2P_2 রেখাদ্বয় বাড়াইয়াও এই কথা প্রমাণ করা যায়।

আবার দ্বিতীয় পৃষ্ঠের নির্গমন কোণ (নির্গত রশ্মি ও অভিলম্বের মধ্যস্থ কোণ) প্রথম পৃষ্ঠের আপাতন কোণের সহিত সমান, সুতরাং প্রথম পৃষ্ঠে আলোক-রশ্মি যতটা বিচ্যুত হইয়াছে, দ্বিতীয় পৃষ্ঠে উহা বিপরীত দিকে ঠিক ততটা বিচ্যুত হইয়াছে। অর্থাৎ, **দুই সমান্তরাল পৃষ্ঠ দ্বারা সীমাবদ্ধ মাধ্যমের মধ্য দিয়া আলোক প্রতিসরিত হইলে কোন কৌণিক বিচ্যুতি ঘটে না**—নির্গত রশ্মির পথ আপতিত রশ্মির পথ হইতে এক পাশে একটু সরিয়া যায় মাত্র। ঐ মাধ্যমের বেধ যত বেশী হইবে পাশের দিকের বিচ্যুতিও তত বেশী হইবে।

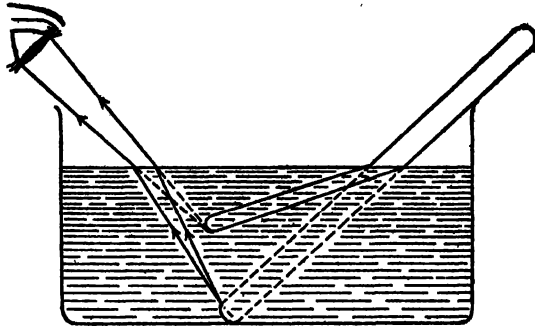
প্রতিসরণের ফলে আমরা যে সকল ঘটনা দেখি—

(1) একটি চা-এর কাপের মধ্যে একটি চক্‌চকে সিকি বা পয়সা রাখ। টেবিলের নিকটে চেয়ারে বসিয়া বাটিটা টেবিলের উপর রাখ। এখন ধীরে ধীরে বাটিটা সরাইয়া এমন স্থানে লইয়া যাও যে তুমি একই স্থানে স্থির হইয়া বসিয়া যেন ঐ সিকিটিকে আর মাত্র একটুর জন্য দেখিতে না পাও। এইবার ঐ কাপে পরিষ্কার জল ঢালিয়া দাও। এখন তুমি সিকিটির প্রতিবিম্ব পূর্বের অবস্থানে থাকিয়াই দেখিতে পাইবে।

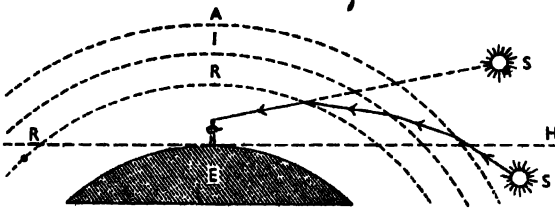
পাত্রে জল না ঢালিলে সিকি হইতে নির্গত PR_1 আলোক-রশ্মি dotted lineএর ডান-দিকে যাইত না, জল ঢালায়, প্রতিসরণের ফলে আলোক-রশ্মি বাঁকিয়া গিয়া দর্শকের চোখে পড়িয়াছে

কাপটি দূরে লইয়া গেলে সিকি হইতে আলোক-রশ্মি সরলরেখায় চলিয়া আসিয়া তোমার চোখে পৌছিতে পারে না ; কিন্তু উহাতে জল ঢালিয়া দিলে আলোক-রশ্মি জল হইতে বায়ুতে আসিবার কালে অভিলম্ব হইতে দূরের দিকে সরিয়া গিয়া তোমার চোখে পড়িল, তাই তুমি উহার বর্ধিত অংশে প্রতিবিম্ব দেখিতে পাইলে।

(2) একটি বড় পাত্রে জল লইয়া উহাতে একটি দণ্ডের এক অংশ কাত করিয়া ডুবাইয়া রাখ। দণ্ডটি জলের সমতলে ভাঙা দেখা যাইবে।

ইহার কারণ জলের নীচে দণ্ডের যে অংশ আছে তাহার প্রত্যেক বিন্দু হইতে আলোক প্রতিসরিত হইয়া কিছু উপরে উহার প্রতিবিম্ব গঠন করিতেছে—দণ্ডের যে বিন্দু জলের যত বেশী নীচে আছে সেই বিন্দুর প্রতিবিম্ব তত বেশী উঁচুতে দেখা

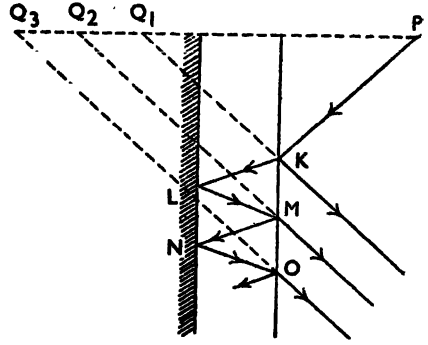
যাইতেছে। কিন্তু দণ্ডের যে অংশ জলের উপরে আছে তাহা যথাস্থানে ঠিকই দেখা যাইতেছে। সেইজন্য ঐ দণ্ডকে জলের সমতলে ভাঙা দেখা যায়।

প্রতিসরণের ফলে জলে নিমজ্জিত দণ্ডকে জলের সমতলে ভাঙা দেখা যায়

(৩) বায়ুতে প্রতিসরণের জন্য সূর্যোদয়ের কিছু আগে এবং সূর্যাস্তের কিছু পরেও আমরা সূর্যকে দেখিতে পাই।

পৃথিবীর বায়ুস্তরের উপরের দিক হাল্‌কা এবং নীচের দিক ক্রমশ ঘন। সূর্য দিক্‌চক্রবালের নীচে থাকিলেও সূর্যকিরণ বায়ুতে পড়িয়া পর পর বিভিন্ন স্তরে প্রতিসরিত হইয়া ক্রমশ অভিলম্বের দিকে বাঁকিয়া চলিতে থাকে। এই আলোক-রশ্মি সর্বশেষে নীচের স্তরে আসিয়া কোন দর্শকের চোখে যে রেখায় প্রবেশ করে, দর্শক উহার বর্ধিত অংশে সরলরেখা ক্রমে সূর্যের প্রতিবিম্ব দেখিবেন। সুতরাং সূর্য

বায়ুমণ্ডলের প্রতিসরণের ফল ; RH দিকচক্রের সমতল ; HR রেখার নীচের S সূর্য ; উপরের S সূর্যের প্রতিবিম্ব

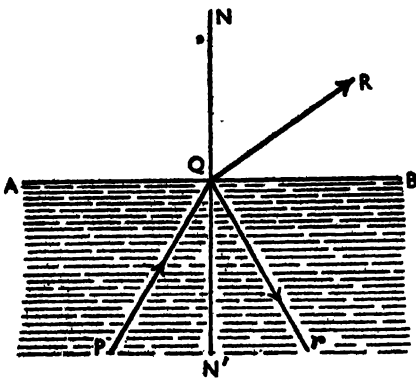
দিকচক্রের নীচে থাকিলেও আমরা উহাকে আকাশে একটু উপরে দেখিতে পাই। সূর্যাস্তের সময়ও অনুরূপ ব্যাপার ঘটে।

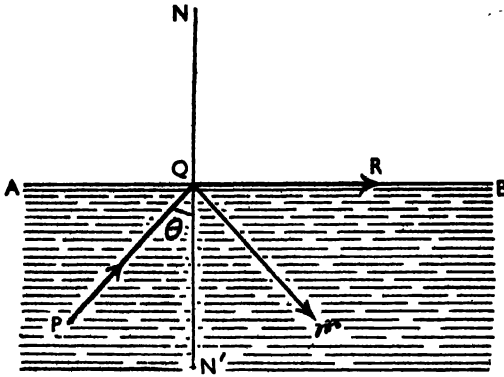
(4) **পুরু কাঁচের আয়না দ্বারা একাধিক প্রতিবিম্ব গঠন**—পুরু কাঁচের আয়নার সম্মুখে, ধর, ডান দিকে একটি মোমবাতি রাখিয়া বাম দিক হইতে তির্যক-ভাবে তাকাইলে পর পর কয়েকটি অলীক প্রতিবিম্ব দেখা যাইবে। ইহাদের মধ্যে দ্বিতীয় প্রতিবিম্বটি সর্বাপেক্ষা উজ্জ্বল দেখা যাইবে।

আয়নার প্রথম পৃষ্ঠ মসৃণ কাঁচ। P হইতে PK রেখায় ঐস্থানে তির্যকভাবে যে আলোক-রশ্মি আসিয়া পড়িতেছে তাহার এক সামান্য অংশ প্রতিফলিত হইতেছে, ইহার ফলে Q_1 প্রতিবিম্ব গঠিত হইয়াছে। কিন্তু অধিকাংশ আলোক প্রতিসরিত হইয়া কাঁচের মধ্যে প্রবেশ করিয়া আয়নার পশ্চাতের রূপার মসৃণ তলে প্রতিফলিত হইয়া কাঁচ ও বায়ুর মিলন-তলে আসিয়া এক অংশ প্রতি-সরিত হইয়া কাঁচ হইতে নির্গত হইতেছে; ইহার ফলে Q_2 প্রতি-বিম্বটি গঠিত হইয়াছে। আবার এক অংশ প্রতিফলিত হইয়া আবার গিয়া পশ্চাতের রূপার মসৃণতলে প্রতিফলিত হইতেছে। এইভাবে প্রত্যেক রশ্মি অনেক বার ক্রমান্বয়ে সম্মুখের ও পশ্চাতের সমতলে প্রতিফলিত হইবার ফলে একাধিক প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে।

পুরু আয়নায় একাধিক প্রতিবিম্ব গঠন

রূপার মসৃণ সমতল হইতে প্রথম প্রতিফলনে অধিকাংশ আলোক প্রতিফলিত হইয়া আসে বলিয়া ঐ Q_2 প্রতিবিম্বটি সর্বাপেক্ষা উজ্জ্বল দেখায়।

3.22. সম্পূর্ণ আভ্যন্তরীণ প্রতিফলন (Total internal reflection):

মনে কর PQ রেখায় ঘন মাধ্যম (ধর জল) হইতে হাল্কা মাধ্যমের (ধর বায়ুর) দিকে আলোক চলিতেছে। দুই মাধ্যমের মিলন-তল AB-তে আসিয়া আলোকের এক অল্প অংশ Qr রেখায় প্রতিফলিত হইয়া ঘন মাধ্যমেই ফিরিয়া আসিবে এবং এক প্রধান অংশ QR রেখায় হাল্কা মাধ্যমে প্রতিসরিত হইবে। ঘন মাধ্যমে আপাতন কোন PQN′ অপেক্ষা হাল্কা মাধ্যমে প্রতিসরণ কোণ NQR সর্বদাই বড় হইবে।

ঘনতর মাধ্যমে আপাতন কোণ বড় না হইলে প্রতিসরিত ও প্রতিফলিত রশ্মি পাওয়া যায়। PQ—আপতিত রশ্মি, QR—প্রতিসরিত রশ্মি, Qr—ঘন মাধ্যমে প্রতিফলিত রশ্মি

সুতরাং ঘন মাধ্যমে আপাতন কোণ বাড়াইয়া 90° করিবার পূর্বেই হাল্‌কা মাধ্যমে প্রতিসরণ কোণ 90° হইয়া যাইবে।

ঘন মাধ্যমে আপাতন কোণ PQN′ এমন হইয়াছে যে প্রতিসরিত রশ্মি QR জলের উপরিতল ঘেঁষিয়া যাইতেছে। Qr ঘন মাধ্যমে প্রতিফলিত রশ্মি—PQN′ = সংকট কোণ

মনে কর চিত্রে প্রদর্শিত মতে PQN′ কোণ θ, হওয়ার ফলে যেন প্রতিসরিত কোণ RQN 90° হইয়া গেল। তখন QR প্রতিসরিত রশ্মি দুই মাধ্যমের মিলন-তল AB ঘেঁষিয়া যাইবে। ঐ সময়েও যথারীতি Qr প্রতিফলিত রশ্মি ঘন মাধ্যমে ফিরিয়া আসিবে এবং $\angle N'Qr = \theta$ হইবে।

এই অবস্থায় ঘন মাধ্যমে আপাতন কোণকে **সংকট কোণ** (Critical angle) বলে।

সংকট কোণের সংজ্ঞা—কোন ঘন মাধ্যম হইতে হাল্‌কা মাধ্যমে আলোক-রশ্মি চলিবার কালে ঘন মাধ্যমে আপাতন কোণ সর্বদা হাল্‌কা মাধ্যমের প্রতিসরণ কোণ অপেক্ষা ক্ষুদ্রতর হয়। সুতরাং ঘন মাধ্যমে আপাতন কোণ এক নির্দিষ্ট মান হইলেই হাল্‌কা মাধ্যমে প্রতিসরণ কোণ 90° হয় বা প্রতিসরিত রশ্মি দুই মাধ্যমের মিলন-তল ঘেঁষিয়া যায়, ঘন মাধ্যমের সেই আপাতন কোণকে সংকট কোণ বলে।

সম্পূর্ণ প্রতিফলন—

যদি এখন ঘন মাধ্যমে আপাতন কোণ, সংকট কোণ θ অপেক্ষা বেশী হয় তবে হাল্‌কা মাধ্যমে প্রতিসরণ কোণ 90° অপেক্ষা বেশী হওয়া আবশ্যক। কিন্তু তাহা হইতে পারে না। সুতরাং তখন, আর প্রতিসরিত রশ্মি হাল্‌কা মাধ্যমে আসিতেই পারিবে না। ঐরূপ ক্ষেত্রে আর প্রতিসরিত রশ্মিই পাওয়া যাইবে না

আপাতন কোণ PQN′ সংকট কোণ অপেক্ষা অধিক হইয়াছে। এখন প্রতিসরিত রশ্মি নাই, সমস্ত আলোকই প্রতিফলিত হইয়া QR রেখায় আসিয়াছে

বা প্রতিসরণ হইবে না ; তখন সকল আলোকই QR রেখায় (আপাতন কোণ প্রতিফলন কোণের সমান করিয়া) ঘন মাধ্যমে প্রতিফলিত হইবে। এই ঘটনাকে **সম্পূর্ণ আভ্যন্তরীণ প্রতিফলন** বলে।

লক্ষ্য করিতে হইবে যে ঘন বস্তু হইতে আলোক-রশ্মি আসিয়া দুই মাধ্যমের মিলন-তলে পতিত হইলে **সকল ক্ষেত্রে আলোক আংশিকভাবে প্রতিফলিত** হয়, কিন্তু আপাতন কোণ সংকট কোণের বেশী হইলে প্রতিসরণ হইতে পারে না, সকল আলোকই (শোষিত সামান্য এক অংশ ছাড়া) সম্পূর্ণরূপে প্রতিফলিত হইয়া যায়। এইজন্য এই ঘটনাকে **সম্পূর্ণ** প্রতিফলন বলা হয়।

পূর্বের ব্যাখ্যা হইতে বোঝা যাইবে যে সম্পূর্ণ প্রতিফলনের শর্তগুলি এই—

(1) আলোক ঘন মাধ্যম হইতে হাল্‌কা মাধ্যমের দিকে চলা আবশ্যক।

(2) ঘন মাধ্যমে আপাতন কোণ সংকোট কোণ অপেক্ষা বেশী হওয়া আবশ্যক।

দ্রষ্টব্য—আলোক হাল্‌কা বস্তু হইতে ঘন বস্তুর দিকে চলিলে প্রতিসরণ কোণ সর্বদা আপাতন কোণ অপেক্ষা ক্ষুদ্রতর হইবে। সেই কারণে হাল্‌কা মাধ্যমে আপাতন কোণ 90° করিলেও ঘন মাধ্যমে প্রতিসরণ কোণ 90° হইবে না (সংকট কোণের সমান হইবে) সুতরাং সকল সময়ই ঘন মাধ্যমে প্রতিসরিত রশ্মি পাওয়া সম্ভবপর ; সেইজন্য সকল সময়ই প্রতিসরণ ও প্রতিফলন দুইই ঘটিবে, সম্পূর্ণ প্রতিফলন হইতে পারে না।

প্রতিসরাঙ্কের সহিত সংকট কোণের সম্পর্ক—

যদি ঘন মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক μ হয় এবং সংকট কোণ θ হয় তবে আলোক-রশ্মি বিপরীত ক্রমে চলিতে পারে বলিয়া আমরা 60 পৃষ্ঠার উপরদিকের চিত্র হইতে লিখিতে পারি—

$$\frac{\sin NQR}{\sin PQN'}=\mu$$

অথবা $$\frac{\sin 90^\circ}{\sin\theta}=\mu$$

$$\therefore \sin\theta=\frac{1}{\mu}$$

সুতরাং কোন মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক জানিলে উহার সংকট কোণ জানা যায়।

সম্পূর্ণ প্রতিফলন জনিত ঘটনা—

পরীক্ষা (1)—একটি কাঁচের বীকারে জল লইয়া পাত্রটিকে সাদা কাগজের

উপর বসাও। একটি পরখনলে কিছু জল লইয়া ঐ নলকে গ্লাসের মধ্যে কাত করিয়া ডুবাইয়া রাখ।

উপর হইতে (বা পাশ হইতে) দেখিলে পরখনলের যে অংশে জল আছে তাহাকে অনুজ্জ্বল এবং যে অংশে জল নাই অথচ যে অংশ বীকারের জলের নীচে আছে সেই অংশ রূপার মত ঝক্‌ঝক্ করিতেছে দেখা যাইবে।

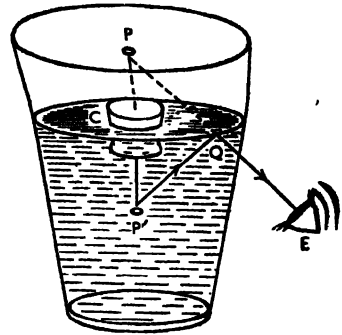
কাগজের (অথবা বাহির হইতে আগত) P বিন্দু হইতে আপতিত রশ্মি পরখনলের উপরের দিক হইতে সম্পূর্ণ প্রতিফলন হইতেছে ; কিন্তু পরখনলের যে স্থানে জল আছে সেই স্থানে উহা প্রতিসরিত হইয়া অন্য দিকে যাইতেছে।

আলোক-রশ্মি গ্লাসের জল হইতে পরখনলের বায়ুতে যাইবার কালে সম্পূর্ণ প্রতিফলিত হয় বলিয়া ঐ অংশ হইতে অনেক বেশী আলোক চোখে পৌঁছে, সেই কারণে ঐ অংশ উজ্জ্বল দেখায়।

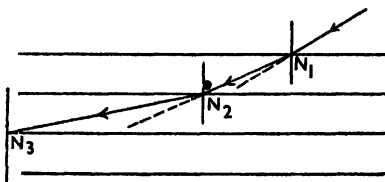
পরীক্ষা (ii)—একটি পিতলের বল কেরোসিন ল্যাম্পের শিখার কিছু উপরে ঝুলাইয়া ধরিয়া রাখিলে উহার গায়ে ভূসাকালির এক কালো স্তর পড়িবে। উহাকে কাঁচপাত্রের জলে ডুবাইলে উহাকে রূপার বলের মত সাদা আলোক বিকিরণ করিয়া ঝক্‌ঝক্ করিতে দেখা যায়।

ইহার কারণ ভূসাকালি জলে ভিজে না, হঠাৎ বলকে জলে ডুবাইলে ঐ কালির স্তর এবং জলের মধ্যে এক স্তর বায়ু আটকাইয়া থাকে। ফলে নানা দিক হইতে জলের মধ্য দিয়া আলোক ঐ বায়ু স্তরের নিকটে আসিয়া জল হইতে বায়ুতে যাইবার পথে ঘন মাধ্যম হইতে হাল্‌কা মাধ্যমে যাইতে বাধ্য হয়। তখন যে সকল আলোক-রশ্মি জল ও বায়ুর সংকট কোণ অপেক্ষা বেশী কোণে বায়ুর স্তরে আপতিত হয় ঐগুলি সম্পূর্ণরূপে প্রতিফলিত হইয়া যায়। ঐ প্রতিফলিত রশ্মি আমাদের চোখে পড়িলে উহাকে আমরা উজ্জ্বল দেখি।

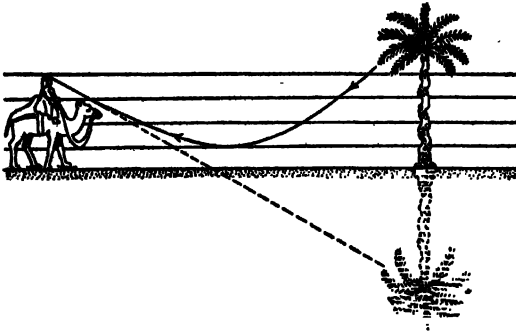
পরীক্ষা (iii)—একটি কাঁচের গ্লাসে জল লও। একটি কর্কের উপর একটি মেয়েদের মাথার চুলের কাঁটা (hair pin) দাঁড় করাও। এখন ইহাকে উল্টাইয়া জলে ভাসাইয়া দাও, যাহাতে পিন সহ কর্কের কিছু অংশ জলে ডুবিয়া থাকে।

গ্লাসের জলের লেভেলের চেয়ে কিছু নীচে চোখ রাখিয়া গ্লাসের ভিতর দিয়া উপর দিকে তাকাইলে পিনের উল্টা প্রতিবিম্ব দেখা যাইবে এবং পিনটি যেন খাড়া অবস্থায় জলে ভাসিতেছে মনে হইবে। ইহার কারণ চিত্র দেখিলে বুঝা যাইবে। জলের মধ্যস্থ পিন হইতে আলোক-রশ্মি বায়ুর দিকে যাইবার কালে যে রশ্মিগুলি সম্পূর্ণ প্রতিফলিত হইবে ঐগুলি দর্শকের চোখে পড়িলে, দর্শক শেষে যে রেখায় আলোক তাঁহার চোখে পড়িবে তাহার বর্ধিত অংশে প্রতিবিম্ব দেখিবেন। স্থতরাং তাঁহার নিকট আলোক উপর হইতে আসিতেছে বলিয়া মনে হইবে।

কর্কের মধ্যে পোঁতা পিন জলের মধ্যে ডুবিয়া আছে; কিন্তু চোখের প্রদর্শিত অবস্থান হইতে মনে হইবে পিনটি জলের উপর দিকে আছে; ইহা সম্পূর্ণ প্রতিফলনের ফল।

মরীচিকা—মরুভূমির বালি দিনের বেলা অত্যন্ত গরম থাকে। ইহার সংস্পর্শে বায়ু আসিলে ঐ বায়ু হাল্‌কা হইয়া উপরে উঠি যায়। তখন উপর হইতে অপেক্ষাকৃত ঠাণ্ডা বায়ু সেই শূন্য স্থান পূরণ করে

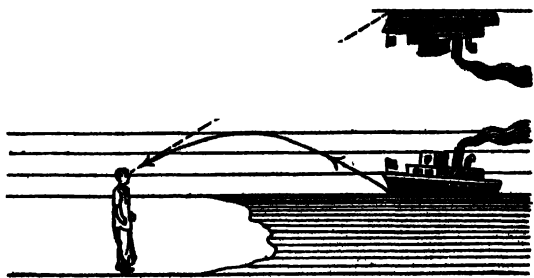
কিন্তু ইহার ফলে গড়ে উপরের স্তরের বায়ু অপেক্ষা নীচের স্তরের বায়ুই হাল্‌কা থাকে। সেইজন্য ক্রমাগত পরিচলন স্রোত বহিতে থাকে।

ক্রমশ হাল্‌কা বায়ুস্তরে যেভাবে আলোক প্রতিসরিত হওয়ার ফলে আপাতন কোণ বাড়ে

দূরের কোন জিনিস, যেমন খেজুর গাছ বা বালিয়াড়ি হইতে যে আলোক-রশ্মি তির্যকভাবে নীচের দিকে চলে উহা ক্রমশ ঘনতর স্তর হইতে অপেক্ষাকৃত হাল্‌কা স্তরের দিকে আসিতে থাকে এবং সেইজন্য আলোক-রশ্মি ক্রমশ অভিলম্ব হইতে দূরের দিকে সরিয়া চলে এবং আপাতন কোণ ক্রমশ বাড়ে। অবশেষে আলোক-রশ্মি নীচের কোন স্তরে আসিয়া যে আপাতন কোণে ঐ স্তরে আপতিত হয় তাহা ঐ স্তর ও পরবর্তী স্তরের পক্ষে সংকট কোণের বেশী হইয়া যায়; ফলে উহা আর প্রতিসরিত না হইয়া সম্পূর্ণরূপে প্রতিফলিত হয়। ঐ প্রতিফলিত আলোক কোন দর্শকের চোখে পড়িলে দর্শকের চোখে সর্বশেষে আলোক যে

রেখায় গিয়া পৌছে তাহার বর্ধিত অংশে অর্থাৎ নীচে দর্শক ঐ গাছ বা বালিয়াড়ির অলীক প্রতিবিম্ব দেখে।

মরুভূমিতে মরীচিকা

বায়ুতে পরিচলন প্রবাহ থাকায় ঐ প্রতিবিম্ব একটু একটু কাঁপিতেছে বলিয়া মনে হয়, সুতরাং দর্শক তাঁহার সাধারণ অভিজ্ঞতা হইতে ভাবে যে সে জলের নীচে ঐ প্রতিবিম্ব দেখিতেছে। বিশেষত গাছের নিকটের মাটি হইতে আলোক-রশ্মি উপরের দিকে বাঁকিয়া যায় বলিয়া ঐ স্থানের মাটি দর্শক দেখিতে পায় না।

তাই কম্পমান গাছের প্রতিবিম্ব দেখিয়া ঐ স্থানে জল আছে মনে করিয়া দর্শক ঐ দিকে অগ্রসর হইয়া থাকেন। কিন্তু ঐ দিকে কিছুদূর অগ্রসর হইলে আর ঐ সম্পূর্ণ প্রতিফলিত রশ্মি তাহার চোখে পৌছে না; তখন সে তাহার ভ্রম বুঝিতে পারে। কিন্তু তখন হয়তো আরও একটু দূরে এক স্থানে আবার অনুরূপ ব্যাপার ঘটিতে দেখিবে। এই আলোকঘটিত বিভ্রমকেই মরীচিকা বলে।

শীতপ্রধান দেশে অন্য এক প্রকার মরীচিকা দেখা যায়। ঐ সকল স্থানে যথানিয়মে বায়ুর ঘন স্তর নীচে এবং হাল্‌কা স্তর উপরে থাকে। সুতরাং পরিচলন-স্রোত থাকে না। দূরের কোন বস্তু হইতে আলোক-রশ্মি নির্গত হইয়া ক্রমশ উপরের দিকে যাইবার সময় আপাতন কোণ বাড়িয়া চলে এবং কোন এক স্তরে উহা ঐ স্তরের বায়ুর পক্ষে সংকট কোণ অতিক্রম করিয়া যায়। ফলে ঐ আলোক-রশ্মি উপরের স্তর হইতে সম্পূর্ণ প্রতিফলিত হইয়া নীচের দিকে ফিরিয়া আসে। ঐ প্রতিফলিত রশ্মি কোন দর্শকের চোখে পড়িলে দর্শক ঐ আলোক-রশ্মির শেষের দিকের বর্ধিত অংশে

সমুদ্রের উপকূলে মরীচিকা

অলীক প্রতিবিম্ব আকাশে উল্টানো অবস্থায় ঝুলিয়া আছে বলিয়া দেখিতে পায়। এই প্রতিবিম্ব কাঁপে না।

প্রশ্ন

1. পরম প্রতিসরাঙ্কের সংজ্ঞা বল। দুই বস্তুর আপেক্ষিক প্রতিসরণ এবং পরম প্রতিসরণের মধ্যে সম্পর্ক প্রমাণ কর। জলের প্রতিসরাঙ্ক $\frac{4}{3}$ এবং তৈলের প্রতিসরাঙ্ক $\frac{7}{5}$. আলোক যখন জল হইতে তৈলের দিকে চলিতেছে তখন উহাদের আপেক্ষিক প্রতিসরাঙ্ক কত ?

(Define absolute refractive index and prove the relation between the absolute refractive index, and the relative refractive index of two media. The absolute refractive index of water is $\frac{4}{3}$ and that of oil $\frac{7}{5}$. Find the relative refractive index between these media when light goes from water towards oil.)

[*Ans.* 1·05]

2. আলোক প্রতিসরণের ক্ষেত্রে ঘন ও হাল্‌কা মাধ্যম বলিলে কি বুঝায় ?
দর্শকের চোখ হাল্‌কা মাধ্যমে থাকিলে ঘনতর স্বচ্ছ মাধ্যমের মধ্যে অবস্থিত বস্তুর প্রতিবিম্ব কিভাবে গঠিত হয় চিত্র আঁকিয়া দেখাও।

(What is meant by a denser and a rarer medium for refraction of light ?
Draw a diagram to show the formation of image of an object in the denser medium as seen by an observer in the rarer medium.)

3. পরিষ্কার জলপূর্ণ অল্প গভীর জলাশয় যত গভীর, দৃশ্যত তাহা অপেক্ষা কম গভীর বলিয়া মনে হয় কেন? 4 ফুট গভীর পুকুরের তলায় লম্বভাবে তাকাইলে পুকুরের তলার কোন বিন্দুকে কত গভীরতায় দেখা যাইবে ?

(A clear shallow pond appears less deep than it really is, why ?
What will be the apparent depth of a pond whose real depth is 4 ft. when it is viewed normally ?)

[*Ans.* 3 ft.]

4. পিন ও কাঁচের ব্লকের সাহায্যে কিভাবে আলোক প্রতিসরণের নিয়ম পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করা যায় ?

(How can the laws of refraction be proved by the pin method ?)

5. সংকট কোণ কাহাকে বলে ? সংকট কোণের সংজ্ঞা বল এবং সম্পূর্ণ প্রতিফলন ব্যাখ্যা কর। সম্পূর্ণ প্রতিফলনের মধ্যে 'সম্পূর্ণ' কথাটার তাৎপর্য বুঝাইয়া দাও।

(What is critical angle ? Define critical angle and explain total reflection.)
Explain the significance of the term 'total' in total reflection.)

6. সম্পূর্ণ প্রতিফলন জনিত কয়েকটি ঘটনার উল্লেখ কর, এবং একটি ব্যাখ্যা কর।

(Mention a few instances of total reflection and explain one of them.)

7. মরীচিকা কাহাকে বলে ? মরুভূমির মরীচিকা ব্যাখ্যা কর।

(What is a mirage ? Explain the formation of a mirage in a desert.)

Additional Numerical Problems

1. The angle of incidence on one face of a rectangular block of glass is 42° and the angle of refraction within the glass is 24·7°. Find the refractive index of the glass [*Ans.* 1·6]

2. The angle of incidence on one face of a prism is 60° and the refractive index of the glass of the prism is 1·5 ; find the angle of refraction at the first surface. [*Ans.* 35°·27]

3. An object is placed in water at a depth of 15 inches and viewed from above normally. By how much will it appear to be raised ? (R.I. of water = $\frac{4}{3}$) [*Ans.* 3·75 inches]

4. Printed matter is below a paper weight which is a glass cube of sides 5 cm. What will be the apparent depth of the block seen by looking normally down ? (R. I. of glass 1·5) [*Ans.* 3·33 cm.]

5. What is the critical angle for glass and air the R. I. of glass being 1·5 ? [*Ans.* 41°]

Public Examination Questions

1. Define refractive index and explain the terms 'critical angle' and 'total internal' reflection. Find a relation between the critical angle and refractive index.

Trace the path of a ray falling normally upon a 60° prism of glass—the critical angle of glass of being 42° (consider only two faces of the prism.) (H. S 1960)

2. State Snell's Law of refraction.

How would you verify the law ?

Explain any two of the following statements.

(i) To an observer standing beside a swimming pool, water appears to be less deep than it really is ;

(ii) Smoked ball being introduced into a beaker of water appears silvery white.

[(iii) See part question of 1960 (Comp.) at the end of the chapter on Dispersion.]

(iv) A number of images is visible when a bright object is held in front of thick plane mirror silvered at the back. (H. S. Comp. 1960)

3. What do you mean by the statement "the refractive index of glass relative to air is 1·5" ?

Show by a diagram that all rays of light are not transmitted from a denser medium to a rarer medium. (Diagram only is wanted.)

Explain 'critical angle' and 'total reflection' and find out a relation between critical angle and refractive index. (H. S. 1962)

4. Explain two of the following observations :

(i) Ponds appear shallower than they really are ;

(ii) A sheet of ground glass becomes almost transparent when wet ;

(iii) Several images of a lighted candle can be seen reflected from a thick plane glass mirror silvered at the back. (C. U. I. Sc. 1942)

5. Define the relative refractive index of refraction of two media and the critical angle. Expiain total reflection.

Describe two laboratory methods of measuring the relative index of refraction of air and glass. (C. U. I. Sc. 1944)

6. A thick block of glass rests on a piece of paper. Explain why a dot on the paper appears to be nearer than it really is to an observer viewing it from above.

If the thickness of the block is 10 cms and its refractive index is 1·5, find the apparent displacement of the dot. [*Ans* 3·33 cm.] (C. U. I. Sc. 1946)

7. Explain the statement that "the refractive index from air to glass is 1·5".

Explain carefully what you understand by the terms ; Critical angle and total reflection.

Mention an application of total reflection in natural phenomenon.

(C. U. I. Sc. 1948)

8. State the laws of refraction and explain what is meant by the refractive index of a substance.

A cube of glass placed on a table has a picture painted on its bottom surface. To a person looking at the picture it appears raised as if, it is inside the glass. Explain the phenomenon.

If the index of refraction is 1·6 how much does the picture appear raised when seen perpendicularly from above ?

[*Ans.* $\frac{3}{8}$th of the thickness of the block.] (C. U. I. Sc. 1953)

9. What is meant by critical angle and total internal reflection ? Show how they are related to each other ?

Show that total internal reflection explains the following facts :

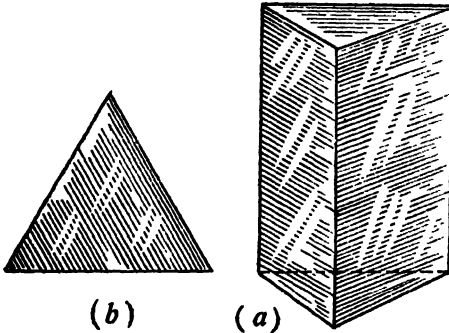
(a) An iron ball covered with soot and held under water presents the appearance of the ball of polished silver.

(b) An empty test tube in a beaker in water illuminated from one side, presents a silvery appearance. (C. U. I. Sc. 1954)

তৃতীয় পাঠ

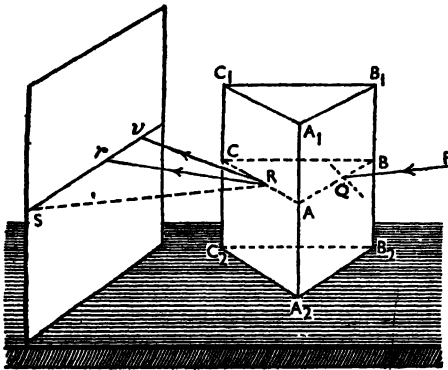
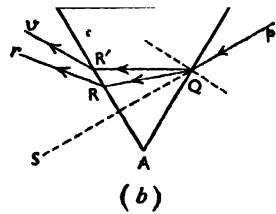
3.3. প্রিজম (Prism) :

আলোক-বিজ্ঞানে কোন স্বচ্ছ পদার্থের দুইটি সমতল মিলিয়া একটি শির উৎপন্ন করিলে উহাকেই প্রিজম* বলা হয়। কিন্তু যে প্রিজম লইয়া সর্বদা পরীক্ষাগারে কাজ করা হয় তাহার দৈর্ঘ্যের দিকে তিনটি সমান্তরাল শির থাকে। ইহার লম্বা দিকটা তিনটি আয়তাকার সমতল দ্বারা সীমাবদ্ধ এবং উপরের ও নীচের দুই প্রান্ত ত্রিভুজাকৃতি তল দ্বারা সীমাবদ্ধ।

(b) (a)

(a) কাঁচের প্রিজম

(b) প্রিজমের প্রস্থচ্ছেদ

চিত্রে ঐ প্রকার একটি কাঁচের প্রিজম দেখানো হইল। ইহার শির, পৃষ্ঠ ও প্রান্তগুলি লক্ষ্য করিয়া দেখিয়া রাখ।

সর্বপ্রথম নিউটনই সূর্যের আলোককে প্রিজমের ভিতর দিয়া চালিত করিয়া দেখান যে সূর্যালোকে সাতটি রং বা বর্ণের আলোক আছে।

(a)

(b)

(a) প্রিজম না থাকিলে PS সরলরেখায় সাদা আলোক আসিয়া পর্দার S বিন্দুতে পড়িত। প্রিজম থাকায় ঐ আলোক সাত বর্ণের আলোকে বিভক্ত হইয়া r এবং v-র মধ্যে পড়িতেছে

(b) চিত্রে আপতিত, অভিলম্ব এবং প্রতিসরিত রশ্মি যে সমতলে আছে, প্রিজমকে সেই সমতলে ছেদ করিলে ঐ ছেদ এবং আলোক-রশ্মিগুলি যেরূপ হইবে

* অঙ্কশাস্ত্রে কয়েকটি সমান্তরাল শিরবিশিষ্ট লম্বা বস্তুকে প্রিজম বলে। বাজারে যে আটটি শির-বিশিষ্ট প্রিজম পাওয়া যায় তাহাকে প্রিজম বলা যায়।

প্রিজমের ভিতর দিয়া যাইবার সময় সূর্যের সাদা আলোক-রশ্মির উপাদান সাতটি বর্ণের আলোক-রশ্মিতে বিভক্ত হইয়া যায় এবং ঐ রশ্মিগুলি প্রিজম হইতে নির্গত হইবার সময়ে বিভিন্ন সরলরেখাক্রমে নির্গত হইয়া থাকে। ঐ সাতটি বর্ণের নাম violet, indigo, blue, green, yellow, orange এবং red; এই শব্দগুলির আদ্যক্ষর পরপর একত্র করিয়া vibgyor* শব্দটি গঠিত হইয়াছে। ইহাতে প্রিজম হইতে নির্গত রশ্মিগুলির অনুক্রমিক বর্ণ সহজে মনে রাখা যায়।

(a) নং চিত্রে দেখা যাইবে যে PQ রেখায় আগত সূর্যরশ্মি প্রিজমের $A_1B_1B_2A_2$ আয়তাকার পৃষ্ঠে আপতিত হইয়া A_1A_2 শিরের অপর দিকের $A_1A_2C_2C_1$ আয়তাকার পৃষ্ঠ হইতে নির্গত হইয়াছে। কিন্তু নির্গত হইবার সময় কোন বর্ণের আলোক-রশ্মি PS সরলরেখায় চলে নাই। v হইতে r—অর্থাৎ, vibgyor-এর সকল বর্ণের আলোক-রশ্মিই প্রিজমের A_1A_2 শির হইতে দূরের দিকে —অর্থাৎ, প্রিজমের পশ্চাতের $B_1B_2C_1C_2$ আয়তাকার পৃষ্ঠের দিকে বাঁকিয়া গিয়াছে।

প্রিজমের যে পৃষ্ঠে আলোক-রশ্মি আপতিত হয় এবং যে পৃষ্ঠ হইতে আলোক-রশ্মি নির্গত হয় ঐ দুই পৃষ্ঠের মধ্যবর্তী কোণকে **প্রিজমের প্রতিসরণ কোণ (refracting angle)** বা সংক্ষেপে **প্রিজম কোণ (angle of the prism)** বলে এবং ঐ দুই পৃষ্ঠের মধ্যস্থ শিরকে **প্রতিসরণ শির (refracting edge)** বলে। যে পৃষ্ঠে আলোক আপতিত হয় এবং যে পৃষ্ঠ হইতে আলোক নির্গত হয় ঐ দুই আয়তাকার পৃষ্ঠ ছাড়া তৃতীয় আয়তাকার পৃষ্ঠকে প্রিজমের **ভূমি (base)** বলে।

প্রিজম হইতে নির্গত রশ্মি সর্বদা ভূমির দিকে বাঁকিয়া যায়।

চিত্রে $B_1A_1C_1$ কোণ প্রিজমের প্রতিসরণ কোণ, A_1A_2 প্রতিসরণ শির এবং $B_1C_1C_2B_2$ ভূমি।

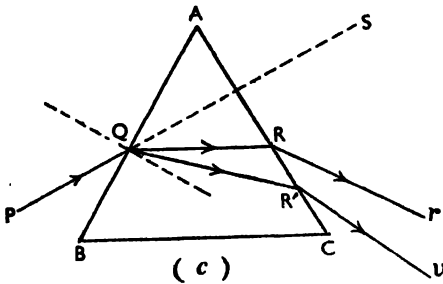
চিত্র দেখিলেই বুঝা যাইবে যে বেগুনী রশ্মি ভূমির দিকে সবচেয়ে বেশী বাঁকিয়া যায় এবং লাল রশ্মি সবচেয়ে কম বাঁকিয়া যায়।

সাদা পর্দার উপর প্রতিসরিত রশ্মিগুলি পড়িলে পর্দার v হইতে r-এর মধ্যস্থ স্থানে vibgyor-এর সাতটি বর্ণ দেখা যাইবে। ইহাকে একত্রে **বর্ণালী (spectrum)** বলে।

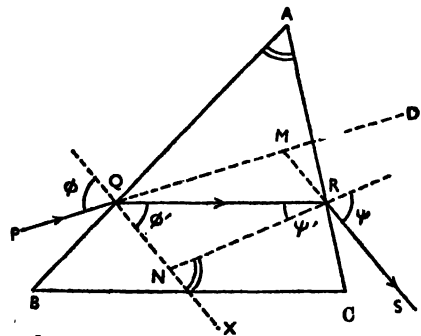
প্রিজমের প্রধান ছেদ—প্রিজমের শিরগুলির সহিত লম্বভাবে যে কোন স্থানে প্রিজমকে কাটিয়া ফেলিলে আমরা একটি ত্রিভুজাকৃতি ছেদ পাইব। ইহাকে প্রিজমের **প্রধান ছেদ (principal section)** বলে। এক্ষেত্রে প্রিজমের প্রধান ছেদ

* ঐ শব্দগুলির বাংলা প্রতিশব্দ বেগুনী, নীল, আসমানী, সবুজ, হলুদ, কমলা এবং লাল। ইহাদের আদ্যক্ষর লইয়া বেনী-আসহকলা শব্দটি ঐ একই কাজের জন্ম গঠিত হইয়াছে।

যেরূপ হইবে তাহা (b)নং চিত্রে দেখানো হইল। প্রতিসরণের নিয়ম অনুসারে আপতিত রশ্মি, অভিলম্ব এবং প্রতিসরিত রশ্মি একই সমতলে অবস্থান করে। সুতরাং যে সমতলে PQ, QR, R*r*, R′*v* আলোক-রশ্মি আছে, প্রিজমের সেই সমতলই আমাদের নিকট সবচেয়ে প্রয়োজনীয়।

সাধারণত আমরা বই-এ বা খাতায় প্রিজমের প্রধান ছেদ প্রতিসরণ-তলে আঁকিয়া প্রিজমের প্রতিসরণ সম্পর্কে নানা কথা আলোচনা করিয়া থাকি। তখন ঐ প্রধান ছেদ পরের (c)নং চিত্রের ন্যায় আঁকা হইয়া থাকে। উহাতে ত্রিভুজের ভিতরের প্রতিসরিত রশ্মি এবং প্রিজম হইতে নির্গত প্রতিসরিত রশ্মি একটিমাত্র রেখা দ্বারা আঁকিলে বুঝিতে হইবে যে আমরা বর্ণালীর সাত বর্ণের আলোকের পরিবর্তে এক বর্ণের আলোক-রশ্মির গতিপথ দেখাইতেছি মাত্র।

সাধারণত যে ভাবে প্রিজমের প্রধান ছেদ আঁকা হয়

বিভিন্ন বর্ণের আলোকের জন্য যে কোন মাধ্যমের পক্ষে প্রতিসরাঙ্ক সামান্য প্রভেদ হয়। সেই কারণে একই আপাতন কোণের জন্য বিভিন্ন বর্ণের আলোক-রশ্মির পক্ষে বিভিন্ন প্রতিসরিত কোণ উৎপন্ন হইয়া থাকে —অর্থাৎ, বিভিন্ন বর্ণের প্রতিসরিত রশ্মি বিভিন্ন দিকে চলে।

প্রিজম দ্বারা বিচ্যুতি (Deviation by a Prism)—নিম্নের চিত্রটি হইতে মনে কর ABC কোন ত্রিভুজের প্রধান ছেদ। যে কোন এক বর্ণের আলোক-রশ্মি PQ রেখায় AB পৃষ্ঠে আপতিত হইয়া QR রেখায় প্রিজমের ভিতর দিয়া চলিয়া AC পৃষ্ঠে আপতিত হইয়া RS রেখায় বায়ুতে প্রতিসরিত হইতেছে। QN এবং RN যথাক্রমে AB এবং ACর উপর লম্ব। AB পৃষ্ঠে আলোক-রশ্মি যতটা ঘুরিয়া গিয়াছে বা ঐ রশ্মির যতটা

প্রিজম দ্বারা আপতিত রশ্মির বিচ্যুতি

বিচ্যুতি ঘটিয়াছে তাহার মান $(\phi-\phi')$; আবার R বিন্দুতে ঐ রশ্মির যতটা বিচ্যুতি ঘটিয়াছে তাহার মান $(\psi-\psi')$। উভয় ক্ষেত্রেই আলোকের পথ একই দিকে

(পূর্ববর্তী পৃষ্ঠায় নিম্নের চিত্রে ডান দিকে) বাঁকিয়া গিয়াছে। সুতরাং এই স্থানে প্রিজম্‌ না বসাইলে যে পথে আলোক-রশ্মি চলিত তাহা হইতে মোট

$(\phi-\phi')+(\psi-\psi')=$ DMS কোণ ঘুরিয়া RS পথে প্রিজম হইতে নির্গত হইয়াছে।

[অন্যভাবে দেখ PQর বর্ধিত অংশ এবং SR এর বর্ধিত অংশ M বিন্দুতে মিলিত হইয়াছে। PQ আলোক-রশ্মির পথে প্রিজম বসাইবার ফলে আলোক-রশ্মি ঘুরিয়া সর্বশেষে MS পথে চলিতেছে। সুতরাং D = DMS কোণ ইহার বিচ্যুতির মান।

$$\therefore \quad \angle D=\angle MQR+\angle MRQ$$
$$=(\phi-\phi')+(\psi-\psi')$$

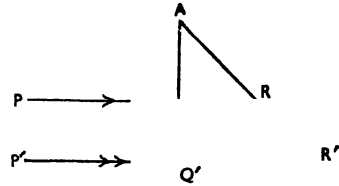
সুতরাং প্রিজম কোন আলোক-রশ্মিতে যে বিচ্যুতি ঘটায় তাহার মান

$$D=\phi+\psi-(\phi'+\psi')$$

$=\phi+\psi-\angle A$ যেহেতু চিত্রের জ্যামিতি হইতে প্রমাণ করা যায় যে $\angle A=\phi'+\psi'$.*

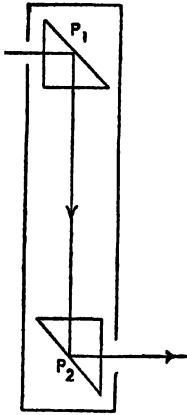
সম্পূর্ণ প্রতিফলক প্রিজম (Total reflecting Prism) :

চিত্রে যেরূপ দেখানো হইয়াছে সেইরূপ প্রধান ছেদ বিশিষ্ট ABC প্রিজমের AB এবং BC পৃষ্ঠ পরস্পর সমকোণে অবস্থিত ; এবং AB = BC. সুতরাং BAC কোণ 45°.

সম্পূর্ণ প্রতিফলক প্রিজমের প্রধান ছেদ

ঐ প্রিজমের AB পৃষ্ঠের উপর লম্বভাবে আপতিত রশ্মি PQ সোজা চলিয়া গিয়া AC পৃষ্ঠের R বিন্দুতে আপতিত হইবে। ঐ স্থানে আপাতন কোণ 45°হইবে ; অথচ কাঁচের সংকট কোণ (বায়ু সম্পর্কে) 41°। সুতরাং RST রেখায় উহা AC পৃষ্ঠ হইতে সম্পূর্ণ প্রতি ফলিত হইয়া নির্গত হইবে—অর্থাৎ, AC অবস্থানে একখানা আয়না রাখিলে যে ব্যাপার ঘটিত প্রায় তদনুরূপ ব্যাপার ঘটিবে; কিন্তু R বিন্দু হইতে সম্পূর্ণ প্রতিফলন হওয়ায় প্রতিবিম্ব খুব উজ্জ্বল হইবে।

---

* AQNR চতুর্ভুজে $\angle AQN=90^\circ=\angle ARN$; $\therefore \angle RNQ+\angle QAR=180^\circ$, আবার $\angle RNQ+\angle RNX=180^\circ$ $\therefore \angle QAR=\angle RNX$; কিন্তু $\angle RNX$, RQN ত্রিভুজের বহিঃস্থ কোণ $\therefore \angle RNX=\phi'+\psi'$, অথবা $\angle A=\phi'+\psi'$

ভাল পেরিস্কোপ প্রভৃতি বহু যন্ত্রে সমতল দর্পণের পরিবর্তে এই প্রকার প্রিজম ব্যবহার করা হয়। চিত্র দেখিলে বুঝা যাইবে যে PP′ এর মধ্যস্থ কোন বস্তুর প্রতিবিম্ব ইহাতে 90° ঘুরিয়া যাইবে, কারণ P′ Q′ রেখায় আপতিত রশ্মি R′T′ রেখায় প্রতিফলিত হইবে।

প্রিজম পেরিস্কোপ

প্রিজমের সাহায্যে আলোকের পথ 180°, 360° ঘুরাইবার ব্যবস্থাও করা যায়।

প্রিজম পেরিস্কোপ (Prism Periscope): সাধারণ পেরিস্কোপে যে যে স্থানে সমতল দর্পণ ব্যবহার করা হয়, সেই সেই স্থানে সম্পূর্ণ প্রতিফলক প্রিজম ব্যবহার করিলে প্রতিবিম্ব আরও উজ্জ্বল দেখায়।

সাবমেরিনে আরও উন্নত ধরনের প্রিজম পেরিস্কোপ ব্যবহার করা হয়

3.31. অবম বিচ্যুতি (Minimum Deviation):

পরীক্ষা (i)—বাহির হইতে জানালার মধ্যস্থ একটি সরু লম্বা ছিদ্র বা স্লিটের ভিতর দিয়া সূর্যকিরণ আনিয়া বিপরীত দেওয়ালে ফেল। ঐ দেওয়ালে যে স্থানে আলোক পড়ে তাহা চিহ্নিত কর। এখন স্লিট হইতে ঘরে যে পথে আলোক আসিতেছে সেই পথে প্রিজমের শিরগুলি খাড়া রাখিয়া একটি প্রিজম বসাও। ঐ চিহ্নিত দেওয়ালে বর্ণালী কোথায় গঠিত হয় লক্ষ্য কর। এখন প্রিজম ধীরে ধীরে যে কোন দিকে ঘুরাইয়া বর্ণালীকে ঐ চিহ্নের যথাসম্ভব নিকটে আনিতে চেষ্টা কর। দেখিবে প্রিজম যে দিকেই ঘুরানো হউক না কেন, বর্ণালী ঐ চিহ্নের দিকে আগাইয়া এক নির্দিষ্ট স্থানে আসিয়াই আবার বিপরীত দিকে ঘুরিয়া চলিবে। আলোকের পথ অনুসরণ করিয়া ঐ সময় কতটা বিচ্যুতি ঘটে তাহার একটা ধারণা করা চলে। লক্ষ্য কর, প্রিজম ঘুরাইয়া বিচ্যুতি ইহা অপেক্ষা বাড়ানো চলে, কিন্তু কমানো চলে না। ঐ সর্বাপেক্ষা কম বিচ্যুতিকে **অবম বিচ্যুতি** বলে।

প্রকৃতপক্ষে প্রত্যেক বিভিন্ন প্রকার বর্ণের আলোক-রশ্মির জন্য বিচ্যুতি বিভিন্ন পরিমাণ হইবে; কিন্তু এই পরীক্ষায় ইহা বিচার করিবার প্রয়োজন নাই।

পরীক্ষা (ii)—পূর্ব পরীক্ষায় প্রিজমকে ঘুরাইয়া অবম বিচ্যুতির অবস্থায় আনিয়া দেওয়ালে বর্ণালী প্রস্তুত করিবার পর আর একটি **অনুরূপ প্রিজম** লইয়া

উহাকে আগের প্রিজমের পাশে এমন ভাবে বসাও যে দ্বিতীয় প্রিজমের ভূমি যেন প্রথম প্রিজমের **প্রতিসরণ শির (refracting edge)**-এর দিকে থাকে এবং উহার প্রিজম-কোণ বা প্রতিসরণ শির যেন প্রথমটির ভূমির দিকে থাকে এবং প্রিজম দুইটি যেন একত্র সংযুক্ত থাকে। তখন দেখা যাইবে যে প্রতিসরিত আলোক-রশ্মি দ্বারা দেওয়ালের আলোকিত অংশে আর বর্ণালীর রং দেখা যায় না (সীমায় যৎসামান্য রং দেখা যাইতে পারে) এবং কোন প্রিজম না বসাইলে যে স্থানে আলোক পৌছিত সেই চিহ্নিত স্থানের খুবই সন্নিকটে আলোক পৌছিয়াছে।

ইহাতে বুঝা যায় যে এক প্রিজম অপর প্রিজমের সহিত বিপরীত ভাবে বসাইলে প্রথম প্রিজম দ্বারা বিচ্ছুরিত আলোক একত্রিত হইয়া আবার সাদা আলোক উৎপন্ন করে।

3.32. প্রিজমের সাহায্যে প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় ঃ

তত্ত্ব (Theory)—জানিয়া রাখ প্রিজম দ্বারা কোন নির্দিষ্ট বর্ণের আলোক-রশ্মির অবম বিচ্যুতি ঘটিলে প্রথম পৃষ্ঠের আপাতন কোণ (angle of incidence), দ্বিতীয় পৃষ্ঠের নির্গমন কোণ (angle of emergence)-এর সমান হয়। অর্থাৎ 70 পৃষ্ঠার চিত্রে $\phi=\psi$ হইবে। $\phi=\psi$ হইলে অবশ্যই $\phi'=\psi'$ হইবে এবং $AQ=AR$ হইবে। আবার আমরা পাইব $D_m=2\phi-A$; $D_m=$ অবম বিচ্যুতি।

$$\therefore \quad \phi=\frac{D_m+A}{2}$$

আবার $2\phi'=A$ হইবে

$$\therefore \quad \phi'=\frac{A}{2}.$$

$$\text{সুতরাং } \mu=\frac{\sin\phi}{\sin\phi'}=\frac{\sin\dfrac{D_m+A}{2}}{\sin\dfrac{A}{2}}$$

(i) কাগজে প্রিজম বসাইয়া কাগজের সমতলে প্রিজমের সীমারেখা টানিয়া চাঁদার (protractor) সাহায্যে প্রতিসরণ কোণ A মাপা যায়।

(ii) আবার অবম বিচ্যুতির সময় $AQ=AR$ হইবে ; ইহা মনে রাখিয়া পিনের সাহায্যে D_m নির্ণয় করা চলে। সুতরাং এই নিয়মে প্রিজম যে পদার্থ দ্বারা নির্মিত (এস্থলে যে প্রকার কাঁচ দ্বারা নির্মিত) তাহার প্রতিসরাঙ্ক জানা যায়।

পরীক্ষা—বোর্ডে কাগজ আটকাইয়া একটি প্রিজম খাড়াভাবে উহার উপর স্থাপন কর এবং প্রিজম কাগজের সমতলে যে রেখায় মিলিত হইয়াছে তাহার দাগ কাট। প্রিজমের ভূমি সম্মুখের দিকে রাখ এবং বাম দিকে R একটি পিন পুঁতিয়া দাও। প্রিজমের বাম দিকের আয়তাকার গা ঘেঁষিয়া P একটি পিন পুঁতিয়া দাও। ঐ পিনটি প্রিজমের ভূমির বিপরীত প্রতিসরণ-শির হইতে বাম দিকে যত দূরে, উহার ডান দিকের আয়তাকার পৃষ্ঠ ঘেঁষিয়া তত দূরে আর একটি পিন Q বসাও। এখন প্রদর্শিত চিত্রের মত প্রিজমের ডান দিক হইতে তাকাইলে R এবং P পিন দুইটির প্রতিবিম্ব এক রেখাস্থ দেখা যাইবে, ঐ রেখায় S পিনটি পুঁতিয়া দাও।

RP রেখায় আপতিত রশ্মি QS রেখায় প্রতিসরিত হইতেছে। SQ রেখার বর্ধিত অংশে T অবস্থানে R পিনের প্রতিবিম্ব দেখা যাইতেছে। ইহা প্রিজম দ্বারা গঠিত অলীক প্রতিবিম্ব।

প্রিজমের অবম বিচ্যুতি নির্ণয়

T—প্রিজম দ্বারা গঠিত অলীক প্রতিবিম্ব E—চোখের অবস্থান

প্রিজম সরাইয়া RP রেখা এবং QS রেখা বর্ধিত করিলে উহারা যে সূক্ষ্ম কোণে মিলিত হয় ঐ কোণই প্রিজমের অবম বিচ্যুতি হইবে।

[**দ্রষ্টব্য**—মনে রাখ নির্দিষ্ট বর্ণের আপতিত রশ্মি সম্পর্কে কোন প্রিজমের অবম বিচ্যুতির অবস্থান এক বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ অবস্থান। একমাত্র অবম বিচ্যুতির অবস্থানে প্রিজম বসাইলেই একটি বিন্দুবৎ উৎসের প্রতিবিম্ব একটি বিন্দু হইবে। আরও নানা কারণে প্রিজমের ঐ অবস্থানে প্রিজম দ্বারা গঠিত প্রতিবিম্বের অনেক দোষ শোধরাইয়া যায়।]

প্রশ্ন

1. যেরূপ কাঁচের প্রিজম দ্বারা বর্ণালী প্রস্তুত করা হয় উহার

(a) কয়টি শির ? (b) কয়টি পৃষ্ঠ ? (c) পৃষ্ঠগুলির মধ্যে কোন্‌টি কিরূপ ? (d) প্রতিসরণ শির বলিলে কি বুঝায় ? (e) প্রতিসরণ কোণ কোন্‌টি ? (f) ভূমি কোন্‌টি ? চিত্রের সাহায্যে তোমরা উত্তর ব্যাখ্যা কর।

(With reference to the glass prism used for forming spectrum, answer the following :

(a) How many edges has it ? (b) How many faces ?
(c) Which faces have what geometrical form ?
(d) Which is the refracting edge ?
(e) Which is the refracting angle ? (f) Which is the base ?
Explain your answer with reference to a diagrm.)

2. (a) প্রিজমের প্রধান ছেদ বলিলে কি বুঝায় ? চিত্রের সাহায্যে ব্যাখ্যা কর।

(b) সূর্যালোকের একটি রশ্মি প্রিজমের ভিতর দিয়া চলিয়া অপর পৃষ্ঠ হইতে নির্গত হইয়াছে। প্রিজমের প্রধান ছেদে উহার পথ মোটামুটি দেখাও।

(c) স্লিটের সম্পর্কে (with respect to the slit) প্রিজম কিভাবে বসাইতে হয় ?

((a) What is meant by the principal section of a prism ? Explain with the aid of a diagram.

(b) A ray of sunlight is incident on one face of the prism and is emergent from the second surface. Draw its path in the princlpal section.

(c) How is a prism to be set with respect to the slit ?)

3. যে কোন এক বর্ণের আলোক-রশ্মি প্রিজমের ভিতর দিয়া চলিয়া নিস্ক্রান্ত হইলে আলোক-রশ্মির যতটা বিচ্যুতি ঘটে তাহার মান নির্ণয় কর।

(Find the deviation of a ray of a monochromatic light through a prism.)

4. অবম বিচ্যুতি বলিলে কি বুঝায় ? প্রিজমের প্রতিসরণ শির এবং অবম বিচ্যুতি জানিলে কোন্‌ সূত্রের সাহায্যে প্রিজম যে বস্তু দ্বারা গঠিত উহার প্রতিসরাঙ্ক জানা যায় ?

একটি কাঁচের প্রিজমের প্রতিসরণ কোণ 60° এবং ইহা দ্বারা যে অবম বিচ্যুতি ঘটে তাহার মান 40° হইলে কাঁচের প্রতিসরাঙ্ক কত ? (দেওয়া আছে sin 50° = ·766 ; sin 30° = ·5)

(What is meant by minimum deviation ? Give the formula for the refractive index of the material of the prism in terms of the angle of the prism and the minimum deviation.

The refracting angle of a prism is 60° and the minimum deviation produced by it is 40°. Find the refractive index of the material of the prism)

(Given sin 50° = ·766 ; sin 30° = ·5) [*Ans.* 1·53]

5. কোন নির্দিষ্ট বর্ণের আপতিত রশ্মি সম্পর্কে কোন প্রিজমের অবম বিচ্যুতির অবস্থানকে একটি গুরুত্বপূর্ণ (important) অবস্থান বলিয়া বিবেচনা করা হয় কেন ?

(For a prism, the position of minimum deviation is said to be an important position ; why ?)

Additional Numerical Problems

1. The refracting angle of a prism is 60° and the minimum deviation is 38°. Find the angle of incidence and refraction at the first surface [*Ans* 49°, 30°]

2. A ray of l ght is incident normally on a refracting surface of a right-angled isosceles prism ; what will be the angle of incidence at the second surface ?
[*Ans*. 45°]

3. The refracting angle of a prism is 60° and the minimum deviation is 40°. Find the refractive index of the material of the prism.
(Use mathematical tables.) [*Ans*. 1·532]

4. The refractive index of the material of a prism is 1 5 and the angle of the prism is 80°. Find the angle of minimum deviation What is the angle of emergence from the second surface ?
(Glven sin 40° = ·6428 ; sin 74°36′ = ·9642) [*Ans*. 69°12′ ; 75°36′]

5. If a ray of light is incident normally at a refracting surface of a right-angled prism whose section is an equilateral triangle. What is the angle of incidence at the second surface ? Will the light be refracted out of this surface ?
[*Ans*. 60°]

6. The deviation produced by a prism is 40°. If the refracting angle is 60° and the angle of incidence is 52° what is the angle of emergence form the second surface ? [*Ans*. 48°]

7. The minimum deviation produced by a prism is 38° and the angle of the prism is 60°. Find the angles of incidence at the first surface and the angle of emergence from the second surface. [*Ans*. 49°, 49°]

8. In the above example what is the refracting index of the material of the prism ? [*Ans*. 1·509]

Public Examination Questions

1. A glass prism has a refracting angle of 90°, the other angle being 45°. Draw accurately the path of a ray incident normally on one of the refracting faces.

What is the deviation produced ? Explain the phenomenon involved

Why is such a device preferred in the construction of a periscope ?
(H. S. Comp. 1961)

2. Trace the path of a ray falling normally upon a 60° prism of glass —the critical angle of glass being 42°. (Consider only two faces of the prism)
(H. S. Part question 1960)

3. What is the condition for the minimum deviation of a ray of light passing through a glass prism ?

Find an expression for the refractive index of the glass of the prism in terms of the angle of minimum deviation and the angle of the prism. (C. U. I. Sc. 1945)

4. What is meant by the position of minimum deviation with respect to a prism ?

Show how this position can be determined practically, given a glass prism and a few pins. (C. U. I. Sc. 1948.)

5. Describe how you would proceed to measure experimentally the refractive index of a material in the form of a prism. Deduce any formula you would use.
(C. U. I. Sc. 1958)

চতুর্থ অধ্যায়

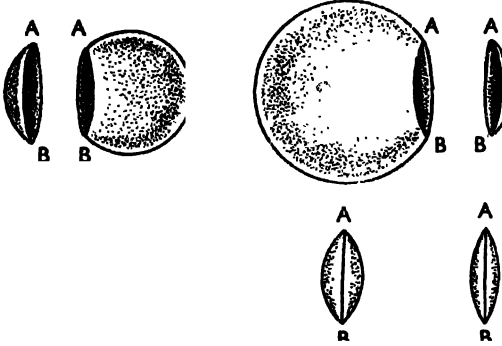
লেন্স

প্রথম পাঠ

4.1. লেন্স-এর গঠন (Structure of a Lens) :

কোন স্বচ্ছ পদার্থের যে অংশ দুই বিপরীত দিকে দুইটি বর্তুলাকার (spherical) তল দ্বারা গঠিত হয় তাহাকে **লেন্স** (Lens) বলে।

শ্রেণী হিসাবে লেন্স দুই প্রকার—যথা, **উত্তল** এবং **অবতল**।

মনে কর একটি বড় এবং একটি ছোট সাবানের গোলক আছে। চিত্রে ঐরূপ দুইটি গোলক দেখানো হইল। বাম দিকের গোলক হইতে AB সমতলের বাম দিক এবং ডান দিকের গোলক হইতে AB সমতলের ডান দিক কাটিয়া লইয়া একত্র করিলে যে আকৃতির বস্তু হইবে ইহাই উত্তল লেন্সের আকৃতি—AB সমতলে গোলককে কাটিলে যে বৃত্ত হইবে তাহার ব্যাস দুইটি গোলকে যাহাতে সমান হয় সেইভাবে গোলক হইতে অংশ কাটিয়া লইতে হইবে।

দুইটি বর্তুল বা গোলক হইতে অংশ কাটিয়া লইয়া যেভাবে উত্তল লেন্সের আকৃতিবিশিষ্ট বস্তু গঠন করা যায়।

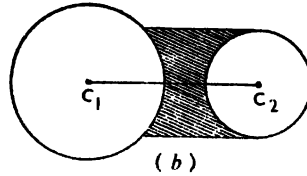
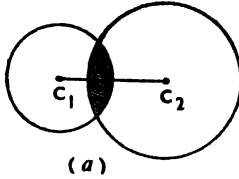
গোলক দুইটি অসমান হইলে নীচের প্রথম চিত্রের ন্যায় এবং সমান হইলে নীচের দ্বিতীয় বা তৃতীয় চিত্রের ন্যায় আকৃতিবিশিষ্ট বস্তু হইবে। স্বচ্ছ পদার্থ হইতে গঠিত এই আকৃতি বিশিষ্ট বস্তুকে **উত্তল** (Convex) লেন্স বলা হয়।

আবার মনে কর দুইটি সমান সমান রবারের বল একটি উপযুক্ত মাপের পেষ্ট-বোর্ডের বাক্স বা প্যাকিং বাক্সের মধ্যে একটু ফাঁক করিয়া বসানো হইল। দুই বলের মাঝখানে কিছু গলানো মোম ঢালিয়া দিয়া ঠাণ্ডা করা হইল। মোম

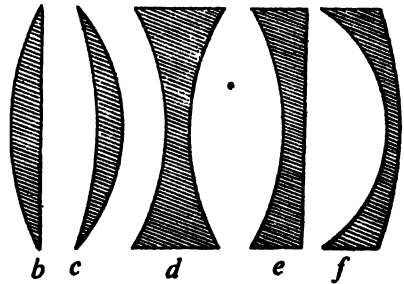
জমিয়া গেলে বল দুইটি মোম হইতে ছাড়াইয়া মোম বাহির করিয়া আনিয়া সীমারেখা গোল করিয়া কাটিয়া লইলে ইহা অবতল লেন্সের আকৃতি হইবে।

স্বচ্ছ পদার্থ হইতে গঠিত এই আকৃতিবিশিষ্ট বস্তুকে **অবতল (concave)** লেন্স বলে: এই ক্ষেত্রে উভয় দিকের অবতল অংশগুলি সমান সমান গোলকের পৃষ্ঠ বলিয়া উহাকে **সম উভাবতল (Equiconcave)** লেন্স বলে।

(a)

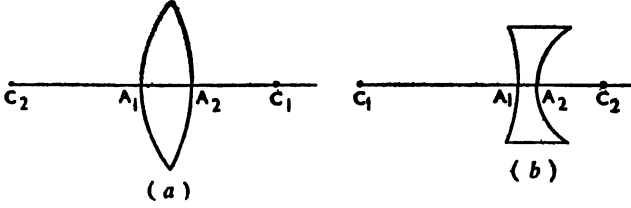
(b)

ছায়াময় স্থান উত্তল লেন্সের ছেদ; ছায়াময় স্থান অবতল লেন্সের ছেদ
উভয় চিত্রে C_1 এবং C_2 লেন্সের পৃষ্ঠগুলির বক্রত্বের কেন্দ্র।

লেন্সের দুই পৃষ্ঠের বক্রত্ব বিভিন্ন মাপের হইলে বিভিন্ন আকৃতির লেন্স প্রস্তুত হয়। **উত্তল লেন্সের মধ্যস্থান সবচেয়ে পুরু এবং কিনারা পাতলা হইবে, কিন্তু অবতল লেন্সের মধ্যস্থান সবচেয়ে পাতলা এবং কিনারা পুরু হইবে।**

(a) সমউভোত্তল (Equiconvex)
(b) সমতলোত্তল (Plano convex);
(c) অবতলোত্তল (Concavo convex) লেন্স;
(d) সমঅবতল (equiconcave)
(e) সমতলাবতল (plano concave)
(f) অবতলাবতল (concavo concave) লেন্স

বিভিন্ন প্রকার উত্তল লেন্স বিভিন্ন প্রকার অবতল লেন্স

উপরে বিভিন্ন প্রকার উত্তল এবং অবতল লেন্সকে কেন্দ্রের ভিতর দিয়া কাগজের সমতলে ছেদ করিলে যে আকৃতিবিশিষ্ট হইবে তাহা দেখানো হইল।

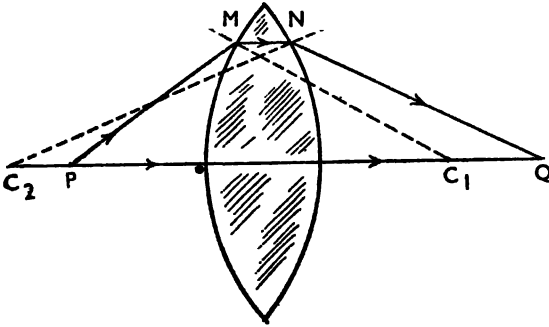
প্রধান অক্ষ (Principal axis)—লেন্সের দুইটি গোলীয় পৃষ্ঠের দুইটি কেন্দ্র সংযোগকারী সরলরেখাকে লেন্সের প্রধান অক্ষ বলে।

প্রধান অক্ষ লেন্সের দুই পৃষ্ঠের যে দুই বিন্দু ছেদ করিয়া যায় ঐ গুলিকে বক্র পৃষ্ঠের pole বা মেরু বলে।

এবং অবতল লেন্সের প্রধান অক্ষ C_1 C_2 রেখা ; মেরু A_1 এবং A_2 বিন্দু
চিত্রে C_1 C_2 রেখা লেন্সের প্রধান অক্ষ এবং A_1A_2 গোলীয় পৃষ্ঠের মেরু।

4.11. উত্তল লেন্স অভিসারী এবং অবতল লেন্স অপসারী :

(A Convex Lens is a Convergent Lens while a Concave Lens is a Divergent one) :

কোন গোলীয় তলের (Spherical surface) যে কোন বিন্দুর সহিত ঐ গোলকের (sphere) কেন্দ্র যোগ করিলে ঐ ব্যাসার্ধ ঐ তলের ঐ বিন্দুতে লম্ব হয়।

নীচের চিত্রে C_1M এবং C_2N যথাক্রমে লেন্সের M এবং N বিন্দুতে লম্ব।

P হইতে pole ব মেরুর উপর দিয়া যে আলোক-রশ্মি আপতিত হইতেছে তাহা লম্বভাবে পতিত হওয়ায় বরাবর নির্গত হইতেছে, PM রেখায় আপতিত রশ্মিও Qতে আসিতেছে

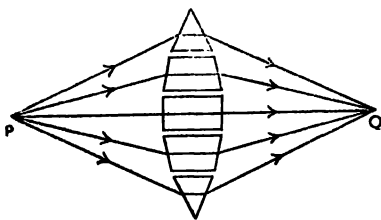
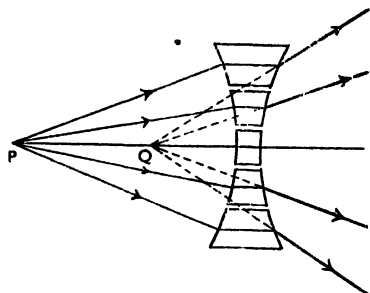
বায়ু হইতে কাঁচে এবং পরে কাঁচ হইতে বায়ুতে আলোক প্রতিসরিত হইতেছে। প্রথমে বায়ু হইতে কাঁচে আলোক যাইবার কালে আপাতন কোণ বড় এবং প্রতিসরণ কোণ ছোট হইতেছে এবং আবার কাঁচ হইতে বায়ুতে আলোক যাইবার সময় কাঁচের মধ্যস্থ আপাতন কোণ অপেক্ষা বায়ুতে প্রতিসরণ কোণ বড় হইতেছে। P হইতে প্রধান অক্ষের বরাবর যে রেখায় আলোক লেন্সে আপতিত হইয়াছে তাহা লেন্সের মধ্যে প্রতিফলিত হইয়া কোন দিকে না বাঁকিয়া সোজা বাহির হইয়া যাইতেছে। এই সাধারণ নিয়মের ফলেই লেন্সের প্রধান অক্ষের কোন বিন্দু P হইতে নির্গত অক্ষসারী

আলোকগুচ্ছ চিত্রে প্রদর্শিত মতে দুইবার প্রতিসরিত হইয়া উত্তল লেন্সের ক্ষেত্রে অভিসারী আলোকগুচ্ছে পরিণত হইতেছে।

অবতল লেন্সের জন্য ঐভাবে প্রত্যেক পৃষ্ঠে সাধারণ নিয়মে প্রতিসরিত রশ্মি আঁকিলে দেখা যাইবে যে Pর অনুরূপ স্থান হইতে নির্গত রশ্মি প্রতিসরণের পর অপসারী হইতেছে।

অন্যরূপ ব্যাখ্যা :

প্রথমে একটি আয়তাকার কাচের ব্লক এবং উহার দুই পাশে প্রতিসাম্য রক্ষা করিয়া কয়েকটি শির কাটা প্রিজমের সমষ্টি হিসাবে উত্তল বা অবতল লেন্স তৈরি হইয়াছে মনে করা যাইতে পারে।

ইহার জন্য মনে রাখা প্রয়োজন যে—

উত্তল লেন্স অভিসারী অবতল লেন্স অপসারী

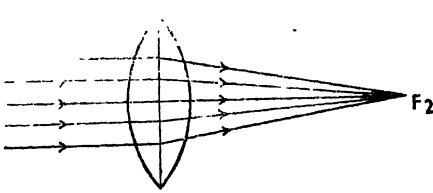
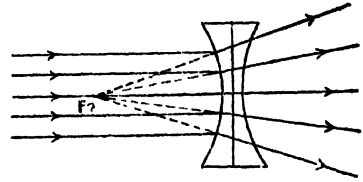
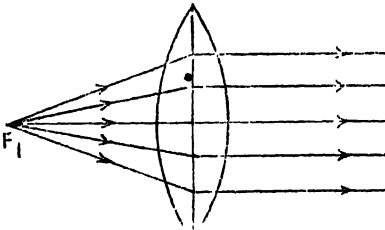
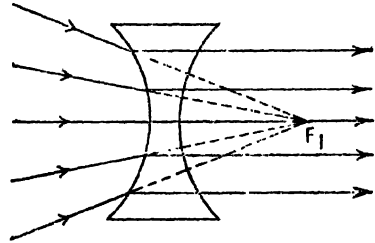
(i) স্বচ্ছ আয়তাকার ব্লক হইতে প্রতিসরিত রশ্মির কৌণিক বিচ্যুতি ঘটে না; এবং আয়তাকার ব্লকের এক পৃষ্ঠে লম্বভাবে আলোক-রশ্মি পড়িলে উহা বিপরীত পৃষ্ঠ হইতে সরলরেখাক্রমে নির্গত হইয়া যায়।

(ii) প্রিজমের যে পৃষ্ঠে আলোক-রশ্মি আপতিত হয় তাহার বিপরীত পৃষ্ঠ হইতে নির্গত হইবার সময় আলোক-রশ্মি প্রিজমের ভূমির দিকে বাঁকিয়া যায়।

এই কথাগুলি মনে রাখিয়া উপরের চিত্র দুইটি দেখিলেই বুঝা যাইবে কেন উত্তল লেন্স **অভিসারী (Convergent)** এবং অবতল লেন্স **অপসারী (Divergent)** হইয়া থাকে।

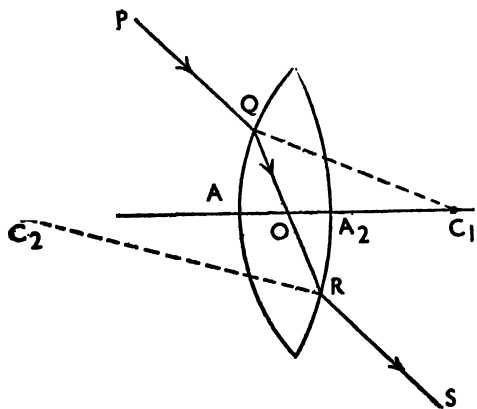
(কিন্তু মনে রাখা আবশ্যক যে কল্পিত প্রিজমগুলির প্রতিসরণ কোণ (refracting angle) সমান নহে; এবং ঐভাবে প্রিজম সাজাইলে লেন্সের মাঝখানের এক অংশ মাত্র পাওয়া যাইবে।)

4.12. প্রিন্সিপ্যাল ফোকাস বা প্রধান ফোকাস (Principal Focus) :

যদি কোন সমান্তরাল আলোকগুচ্ছ কোন লেন্সের প্রধান অক্ষের সমান্তরাল ভাবে আসিয়া কোন লেন্সের পোলের (pole) নিকট আপতিত হইয়া প্রতিসরণের পর প্রধান অক্ষের কোন বিন্দুতে কেন্দ্রীভূত হয় (উত্তল লেন্সে তাহাই হয়) অথবা প্রধান অক্ষের কোন বিন্দু হইতে অপসারী আলোকগুচ্ছে নির্গত হয় বলিয়া মনে হয় (অবতল লেন্সের ক্ষেত্রে তাহাই হয়) তবে ঐ বিন্দুকে লেন্সের প্রধান ফোকাস বা দ্বিতীয় প্রধান ফোকাস (second principal focus) বলে।

F_2 উত্তল লেন্সের দ্বিতীয় প্রধান ফোকাস F_2 অবতল লেন্সের দ্বিতীয় প্রধান ফোকাস

উত্তল লেন্সের প্রধান অক্ষের যে বিন্দু হইতে অপসারী আলোকগুচ্ছ নির্গত হইয়া লেন্সে আপতিত হওয়ার পর সমান্তরাল আলোকগুচ্ছে পরিণত হয়, সেই বিন্দুকে লেন্সের প্রথম প্রধান ফোকাস (first principal focus) বলা হয়।

F_1 উত্তল লেন্সের প্রথম প্রধান ফোকাস F_1 অবতল লেন্সের প্রথম প্রধান ফোকাস

অবতল লেন্সের প্রধান অক্ষের যে বিন্দুর অভিমুখী অভিসারী আলোকগুচ্ছ লেন্সের মধ্যে প্রতিসরণের ফলে সমান্তরাল আলোকগুচ্ছে পরিণত হয়, সেই বিন্দুকে অবতল লেন্সের প্রথম প্রধান ফোকাস বলা হয়।

চিত্রে উভয় প্রকার লেন্সেই F_2 দ্বিতীয় প্রধান ফোকাস এবং F_1 প্রথম প্রধান ফোকাস।

4.13. আলোক-কেন্দ্র (Optical centre) :

যদি লেন্সের এক পৃষ্ঠে কোন আলোক-রশ্মি পতিত হইয়া বিপরীত পৃষ্ঠ হইতে আপতিত রশ্মির সমান্তরালভাবে নির্গত হয়, তবে লেন্সের মধ্যস্থ প্রতিসরিত রশ্মি (অথবা কোন ক্ষেত্রে উহার বর্ধিত অংশ) লেন্সের প্রধান অক্ষকে একটি নির্দিষ্ট বিন্দুতে ছেদ করিয়া যায়। ঐ নির্দিষ্ট বিন্দুকে লেন্সের আলোক-কেন্দ্র বলে। চিত্রে আপতিত রশ্মি PQ নির্গত রশ্মি RS-এর সহিত সমান্তরাল এবং লেন্সের মধ্যস্থ QR প্রতিসরিত রশ্মি প্রধান অক্ষকে O বিন্দুতে ছেদ করিয়াছে। সুতরাং O এই লেন্সের আলোক-কেন্দ্র।

QR: লেন্সের-মধ্যে প্রতিসরিত রশ্মি ; O বিন্দু আলোক-কেন্দ্র

ঐ আলোক-কেন্দ্র প্রদত্ত লেন্সের পক্ষে একটি অপরিবর্তনীয় নির্দিষ্ট বিন্দু।

[**প্রমাণ।** PQ রশ্মি RS-এর সহিত সমান্তরাল।

$\therefore$ AQ বৃত্তাংশের* Q বিন্দুতে অঙ্কিত স্পর্শক A_2R বৃত্তাংশের R বিন্দুতে অঙ্কিত স্পর্শকের সহিত সমান্তরাল হইবে। সুতরাং C_1Q এবং C_2R সমান্তরাল।

$\therefore$ OC_1Q এবং OC_2R এই দুই ত্রিভুজের কোণগুলি পরস্পর সমান, অর্থাৎ ঐ দুই ত্রিভুজ সদৃশ।

$$\therefore \frac{C_2O}{C_1O}=\frac{C_2R}{C_1Q}=\frac{r_2}{r_1}=\frac{C_2A_2}{C_1A}$$

অর্থাৎ $$\frac{r_2}{r_1}=\frac{C_2A_2}{C_1A}=\frac{C_2O}{C_1O}=\frac{C_2A_2-C_2O}{C_1A-C_1O}=\frac{OA_2}{OA}$$

অর্থাৎ $$\frac{r_2}{r_1}=\frac{OA_2}{OA}$$

---

*কাগজের সমতলে লেন্সের ছেদ লইলে উভয় পৃষ্ঠ বৃত্তাকার হইবে। $C_1Q=C_1A=r_1$ প্রথম বক্রত্বের ব্যাসার্ধ ; সেইরূপ $C_2R=C_2A_2=r_2$.

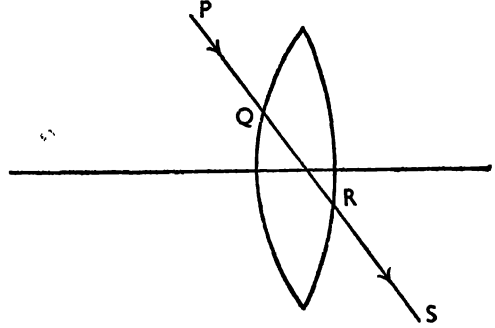
$$\therefore \quad 1+\frac{r_2}{r_1}=1+\frac{OA_2}{OA}=\frac{OA+OA_2}{OA}=\frac{AA_2}{OA}$$

$$\frac{r_1+r_2}{r_1}=\frac{t}{OA}$$

$$\therefore \quad OA=\frac{r_1 t}{r_1+r_2} \ ; \ \text{ঐভাবে } OA_2=\frac{r_2 t}{r_1+r_2}$$

$t=A\ A_2$ ধ্রুবক ; r_1 এবং r_2 ধ্রুবক ; A এবং A_2 নির্দিষ্ট বিন্দু $\therefore$ O একটি নির্দিষ্ট বিন্দু।]

পাতলা লেন্স (Thin Lens) : আমরা এখানে পাতলা লেন্স সম্পর্কেই আলোচনা করিব। আদর্শ পাতলা লেন্সের পক্ষে দুইদিকের মেরুবিন্দু এবং আলোক-কেন্দ্র একই বিন্দুতে মিলিত আছে ধরা হয়।

লেন্স ঐরূপ পাতলা হইলে পূর্ববর্তী পৃষ্ঠার চিত্রের PQRS প্রায় এক রেখাস্থ হইয়া যায়। সেইজন্য বলা চলে যে পাতলা লেন্সের আলোক-কেন্দ্রাভিমুখী আপতিত রশ্মি একটুও না বাঁকিয়া সোজা-সুজি লেন্স হইতে নির্গত হইয়া যায়।

পাতলা লেন্সের আলোক-কেন্দ্রগামী আপতিত রশ্মি বিচ্যুত না হইয়া অপর পৃষ্ঠ হইতে নির্গত হয়

আমরা যে সকল লেন্সের কথা আলোচনা করিব ঐগুলি আদর্শ পাতলা লেন্স না হইলেও প্রায় পাতলা লেন্সেরই মত ; এবং এইসকল ক্ষেত্রে আমরা ধরিয়া লইব যে আলোক-কেন্দ্রাভিমুখী আপতিত রশ্মি একটুও না বাঁকিয়া লেন্স হইতে নির্গত হইয়া যায়।

ফোক্যাল লেংথ বা ফোকাস দূরত্ব (Focal Length) :

পাতলা লেন্সের আলোক-কেন্দ্র হইতে প্রথম বা দ্বিতীয় ফোকাসের দূরত্বকে ফোক্যাল লেংথ বলে। লেন্সের **দুইদিকে একই প্রকার মাধ্যম** থাকিলে প্রত্যেক লেন্সের উভয় ফোক্যাল লেংথের মান একই হয়। ফোক্যাল লেংথ বুঝাইবার জন্য f প্রতীক ব্যবহার করা হয়।

জ্যামিতিক চিত্রাঙ্কণ দ্বারা লেন্সের প্রধান অক্ষের উপর লম্বভাবে অবস্থিত বস্তুর প্রতিবিম্ব অঙ্কন ঃ

ইহার জন্য মনে রাখা আবশ্যক যে

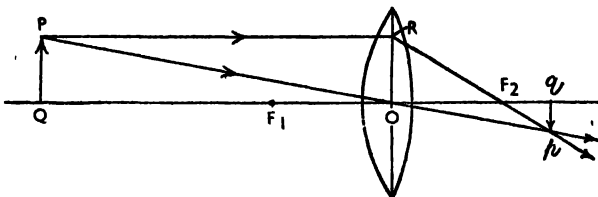
(i) প্রধান অক্ষের সমান্তরাল আলোক-রশ্মি লেন্সের মধ্যে প্রতিসরিত হইয়া উত্তল লেন্সের দ্বিতীয় ফোকাসের মধ্য দিয়া যাইবে এবং অবতল লেন্সের দ্বিতীয় ফোকাস হইতে নির্গত হইতেছে বলিয়া মনে হইবে।

(ii) লেন্সের আলোক-কেন্দ্রাভিমুখে যে রশ্মি লেন্সে আপতিত হইবে উহা দিক পরিবর্তন না করিয়া বরাবর লেন্স হইতে নির্গত হইবে।

4.14. লেন্স দ্বারা গঠিত প্রতিবিম্ব ঃ

PQ প্রধান অক্ষের উপর লম্বভাবে অবস্থিত বস্তু। P হইতে প্রধান অক্ষের সমান্তরাল PR আলোক-রশ্মি উত্তল লেন্স হইতে নির্গত হইয়া দ্বিতীয় প্রধান ফোকাস F_2-এর ভিতর দিয়া গিয়াছে। PO রশ্মি লেন্সের আলোক-কেন্দ্রের ভিতর দিয়া কোন দিকে না বাঁকিয়া সোজাসুজি নির্গত হইয়াছে। দুইটি নির্গত রশ্মি p বিন্দুতে ছেদ করিয়াছে, অর্থাৎ P বিন্দু হইতে অপসারী আলোকগুচ্ছ লেন্সের ভিতর দিয়া প্রতিসরণের পর অভিসারী আলোকগুচ্ছে পরিণত হইয়া p বিন্দুতে কেন্দ্রীভূত হইয়াছে।

$\therefore$ p বিন্দুই P বিন্দুর প্রকৃত প্রতিবিম্ব।

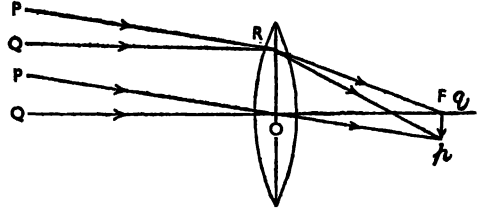
p হইতে প্রধান অক্ষে লম্বপাত করিলে pq ই PQ-এর প্রকৃত প্রতিবিম্ব বা

উত্তল লেন্স দ্বারা গঠিত প্রতিবিম্ব অঙ্কনের সাধারণ নিয়ম

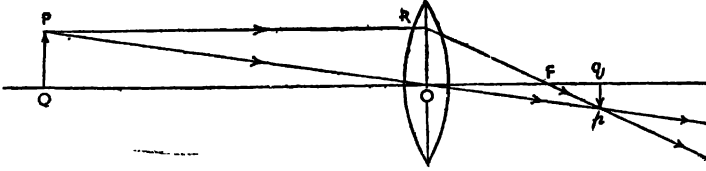
সদ্বিম্ব হইবে। কারণ, P র নীচের বিন্দুগুলি হইতেও অনুরূপভাবে আলোক-রশ্মি টানা যাইবে এবং ঐগুলি pq-এর উপরে একটি বিন্দুতে কেন্দ্রীভূত হইবে।

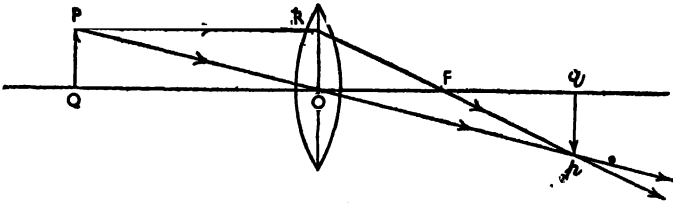
এই নিয়ম মনে রাখিয়া লেন্স হইতে বিভিন্ন দূরত্বে বস্তু থাকিলে যেরূপ প্রতিবিম্ব গঠিত হয় তাহা পর পর দেখানো হইল।

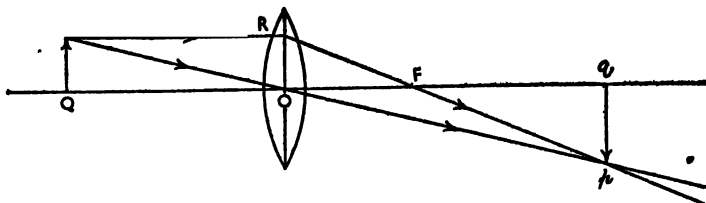
(A) উত্তল লেন্স দ্বারা বিভিন্ন দূরত্বে অবস্থিত বস্তুর প্রতিবিম্ব গঠন :

(1) বস্তুর দূরত্ব অসীম, প্রতিবিম্ব—বিপরীত শীর্ষ, অত্যন্ত খর্বিত। ঐ প্রতিবিম্ব দ্বিতীয় প্রধান ফোকাসে গঠিত হইবে।

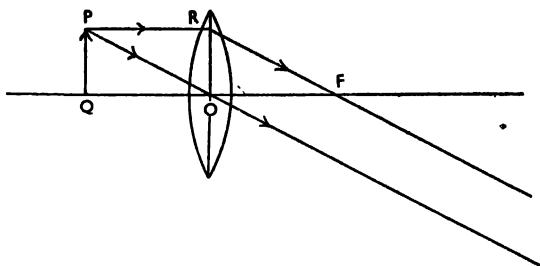
বহুদূরে অবস্থিত PQ বস্তুর উপরের বিন্দু P হইতে সমান্তরাল রশ্মি PR, PO আসিয়া লেন্সে পড়িতেছে; ঐরূপ ভাবে বস্তুর নীচের বিন্দু Q হইতে সমান্তরাল রশ্মি QR এবং QO আসিয়া লেন্সে পড়িতেছে; P হইতে আগত রশ্মি p-তে এবং Q হইতে আগত রশ্মি q-তে কেন্দ্রীভূত হইতেছে

(1)

(2) বস্তুর দূরত্ব $2f$ অপেক্ষা বেশী কিন্তু অসীম নহে; প্রতিবিম্ব সৎ, বিপরীত শীর্ষ, খর্বিত; ঐ প্রতিবিম্ব দ্বিতীয় প্রধান ফোকাস হইতে দূরে (লেন্স হইতে f অপেক্ষা বেশী কিন্তু $2f$ অপেক্ষা কম দূরে) গঠিত হইবে।

(2)

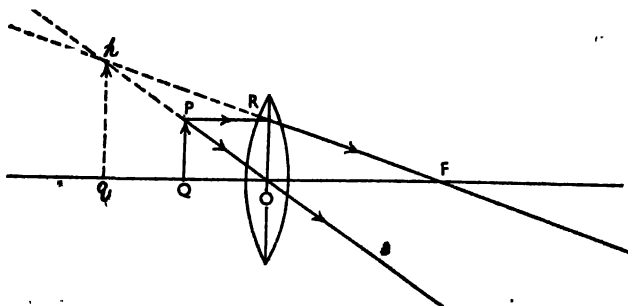
(3) বস্তুর দূরত্ব $2f$, প্রতিবিম্ব সৎ, বিপরীত শীর্ষ এবং বস্তুর সমান। প্রতিবিম্বের দূরত্ব লেন্স হইতে $2f$এর সমান।

(3)

(4) বস্তুর দূরত্ব f হইতে বেশী, কিন্তু $2f$ অপেক্ষা কম; প্রতিবিম্ব সৎ, বিপরীত শীর্ষ এবং বস্তু অপেক্ষা বৃহত্তর। প্রতিবিম্বের দূরত্ব $2f$ অপেক্ষা বেশী।

(4)

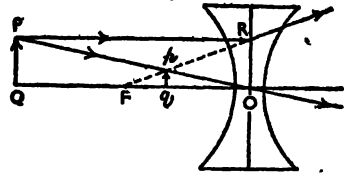
(5) বস্তুর দূরত্ব fএর সমান, অর্থাৎ বস্তু লেন্সের প্রথম প্রধান ফোকাসে প্রতিবিম্ব সৎ, বিপরীত শীর্ষ এবং বহুগুণ বড়। প্রতিবিম্বের দূরত্ব লেন্স হইতে অসীম

(5)

[**দ্রষ্টব্য :** (1) হইতে (5) পর্যন্ত সকল ক্ষেত্রেই লেন্সের সম্মুখে বস্তু যে দিকে আছে প্রতিবিম্ব তাহার বিপরীত দিকে আছে।]

(6) বস্তুর দূরত্ব f অপেক্ষা কম,

অর্থাৎ, উহা লেন্সের প্রথম প্রধান ফোকাস এবং লেন্সের মধ্যে অবস্থিত। প্রতিবিম্ব অলীক, সমশীর্ষ, বৃহত্তর ; ঐ প্রতিবিম্ব লেন্সের সম্মুখে বস্তু যে দিকে আছে সেই দিকেই গঠিত হইবে।

(6)

(B) অবতল লেন্স দ্বারা গঠিত প্রতিবিম্ব :

বস্তু অসীম হইতে লেন্সের নিকটে আসিলে, প্রতিবিম্ব দ্বিতীয় প্রধান ফোকাস হইতে লেন্সের নিকটে আসিবে—প্রত্যেক ক্ষেত্রে প্রতিবিম্ব অলীক, সমশীর্ষ এবং খর্বিত হইবে। বস্তু এবং প্রতিবিম্ব অবতল লেন্সের একই দিকে থাকিবে।

অবতল লেন্স দ্বারা সকল ক্ষেত্রেই সমশীর্ষ, খর্বিত, এবং অলীক প্রতিবিম্ব গঠিত হয়

4.15. অনুবন্ধী বিন্দুদ্বয় (Conjugate points) :

লেন্স দ্বারা কোন বস্তুর প্রতিবিম্ব যেভাবে গঠিত হয় তাহার চিত্র অঙ্কনের প্রণালী অনুসরণ করিলে দেখা যাইবে যে, যে সকল ক্ষেত্রে সদ্‌বিম্ব গঠিত হইয়াছে সেই সকল ক্ষেত্রে প্রতিবিম্বের অবস্থানে বস্তু রাখিলে বস্তুর অবস্থানে প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে।

[যে সকল ক্ষেত্রে অসদ্‌বিম্ব গঠিত হইয়াছে, সেই সকল ক্ষেত্রে অন্য লেন্স (অথবা অবতল আয়না) দ্বারা গঠিত সদ্‌বিম্ব যদি ঐ অবস্থানে গঠিত হইবার ব্যবস্থা থাকে অথচ আলোক-রশ্মি ঐ স্থানে পৌঁছিবার আগেই লেন্সে আপতিত হয় এবং ঐ অগঠিত সদ্‌বিম্ব হইতে লেন্সের দূরত্ব ঐ সকল চিত্রের মতই হয় তবে ঐ সকল চিত্রে প্রদর্শিত বস্তুর অবস্থানেই শেষ প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে।]

সংজ্ঞা—লেন্সের প্রধান অক্ষে অবস্থিত যে দুই বিন্দু পরস্পরের সহিত বস্তু এবং প্রতিবিম্বের অবস্থানের সম্পর্ক বজায় রাখে উহাদিগকে অনুবন্ধী (Conjugate) বিন্দু বলা হয়।

4.16. লেন্স দ্বারা গঠিত প্রতিবিম্ব ও বস্তুর দূরত্বের সহিত উহার ফোক্যাল লেংথ-এর সম্পর্ক :

A. ইহার জন্য প্রথমে দূরত্ব মাপিবার একটি প্রচলিত নিয়ম জানা আবশ্যক। এই নিয়ম এইরূপ :

(1) সকল দূরত্বই লেন্সের আলোক-কেন্দ্র বা অপ্‌টিক্যাল সেণ্টার হইতে মাপিতে আরম্ভ করিতে হইবে ;

(2) দূরত্ব মাপিবার জন্য যদি আলোক-কেন্দ্র হইতে আপতিত রশ্মির বিপরীত দিকে যাইতে হয়, তবে ঐ দূরত্বকে পজিটিভ দূরত্ব ধরা হইবে। আপতিত রশ্মি যেদিকে চলিতেছে সেই দিকে যাইতে হইলে উহাকে নেগেটিভ দূরত্ব বলা হইবে।

এই নিয়মে অবতল লেন্সের ফোক্যাল লেংথ পজিটিভ এবং উত্তল লেন্সের ফোক্যাল লেংথ নেগেটিভ হইবে।

উত্তল লেন্স দ্বারা সদ্‌বিম্ব গঠিত হইলে, যেমন 85-86 পৃষ্ঠায় (2),(3) এবং (4)নম্বর চিত্রে গঠিত হইয়াছে—বস্তুর দূরত্ব পজিটিভ এবং প্রতিবিম্বের দূরত্ব নেগেটিভ হইবে। (6)নং চিত্রের ন্যায় অসদ্‌বিম্ব গঠিত হইলে বস্তুর দূরত্ব এবং প্রতিবিম্বের দূরত্ব উভয়ই পজিটিভ হইবে। কিন্তু সকল অবস্থায়ই উত্তল লেন্সের ফোক্যাল লেংথ নেগেটিভ হইবে।

অবতল লেন্স দ্বারা গঠিত অসদ্‌বিম্ব এবং বস্তু লেন্সের একই দিকে থাকিবে সুতরাং বস্তুর দূরত্ব এবং প্রতিবিম্বের দূরত্ব সর্বদা পজিটিভ হইবে। এক্ষেত্রে ফোক্যাল লেংথও সর্বদা পজিটিভ হইবে।

B. লেন্সের ক্ষেত্রে $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$ এই সম্পর্ক প্রমাণ; u=বস্তুর দূরত্ব, v=প্রতিবিম্বের দূরত্ব, f=ফোক্যাল লেংথ।

পার্শ্বের চিত্রে ত্রিভুজ POQ এবং pOq সদৃশ।

$$\therefore \quad \frac{PQ}{pq}=\frac{OQ}{Oq} \quad \cdots(1)$$

আবার RFO এবং pFq ত্রিভুজদ্বয় সদৃশ

$$\frac{RO}{pq}=\frac{OF}{Fq} \quad \cdots(2)$$

কিন্তু RO=PQ

$\therefore$ উপরের (1) নং এবং (2) নং সমীকরণ সমান।

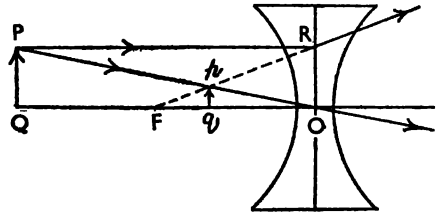
$$\therefore \frac{OQ}{Oq}=\frac{OF}{Fq}$$

$$=\frac{OF}{OF-Oq}$$

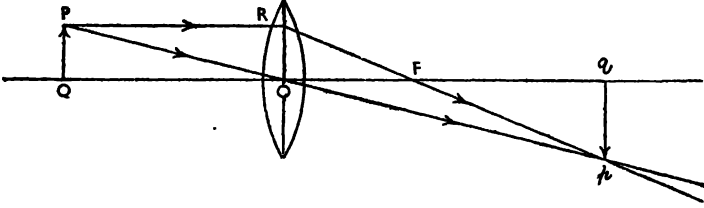
কিন্তু এক্ষেত্রে $\left.\begin{array}{l} OQ=u \\ Oq=v \\ OF=f \end{array}\right\}$ সব পজিটিভ

$$\therefore \frac{u}{v}=\frac{f}{f-v}$$

$$uf-uv=vf$$

$$uf-vf=uv$$

উভয় পক্ষকে uvf দ্বারা ভাগ করিয়া

$$\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}.$$

উত্তল লেন্স দ্বারা গঠিত সদ্‌বিম্বের ক্ষেত্রে, যথা নীচের চিত্রে ঠিক আগের ন্যায় প্রমাণ করা যায় যে

$$\frac{OQ}{Oq}=\frac{OF}{Fq}$$

$$=\frac{OF}{Oq-OF}$$

এক্ষেত্রে $OQ=u$

$Oq=-v$

$OF=-f$

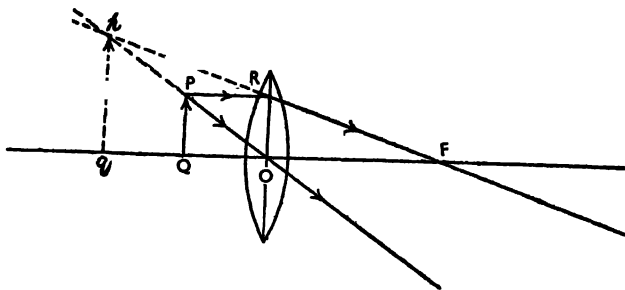
$$\therefore \quad \frac{u}{-v}=\frac{-f}{-v-(-f)}$$

$$\frac{u}{v}=\frac{f}{f-v}$$

$$\therefore \quad \frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}.$$

উত্তল লেন্স দ্বারা গঠিত অসদ্‌বিম্বের ক্ষেত্রে, যথা নীচের চিত্রে,

$$\frac{OQ}{Oq}=\frac{OF}{Fq}$$

$$=\frac{OF}{Oq+OF}$$

এস্থলে $OQ = u$

$Oq = v$

$OF = -f$

$$\frac{u}{v} = \frac{-f}{v+(-f)} = \frac{f}{f-v}$$

$$\therefore \quad \frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

অর্থাৎ, **লেন্স যে প্রকারই হউক না কেন, আমরা একই সূত্র ব্যবহার করিতে পারিব—অবশ্য যদি দূরত্বগুলি বসাইবার সময় উহাদের নিজ নিজ চিহ্ন সমেত বসানো হয়।**

অঙ্ক ঃ (1) একটি উত্তল লেন্সের ফোক্যাল লেংথ 10 সে. মি.। ইহার সম্মুখে 15 সে. মি. দূরে একটি বস্তু আছে, উহার প্রতিবিম্ব কত দূরে গঠিত হইবে?

এস্থলে $f = -10$ সে. মি.

$u = 15$ সে. মি.

$v = \ ?$

আমরা জানি, $$\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{15} = -\frac{1}{10}$$

$$\frac{1}{v} = \frac{1}{15} - \frac{1}{10} = -\frac{1}{30}$$

$v = -30$ সে. মি.

অর্থাৎ, লেন্সের যেদিকে বস্তু আছে তাহার বিপরীত দিকে 30 সে. মি. দূরে প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে।

অঙ্ক : (2) একটি অবতল লেন্স হইতে 60 সে. মি. দূরে একটি বস্তু রাখিলে উহার প্রতিবিম্ব 15 সে. মি. দূরে গঠিত হয়। ঐ লেন্সের ফোক্যাল লেংথ কত ?

$$\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{15}-\frac{1}{60}=\frac{1}{f}$$

$$\frac{4-1}{60}=\frac{1}{f}$$

$\therefore\ f=20$ সে. মি.

অঙ্ক : (3) একটি উত্তল লেন্সের ফোক্যাল লেংথ 15 সে. মি.। ইহার সম্মুখে 5 সে মি. দূরে একটি বস্তু রাখা হইল। ইহার প্রতিবিম্ব কোথায় গঠিত হইবে ?

$$\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{v}-\frac{1}{5}=\frac{1}{15}$$

$$\therefore\ \frac{1}{v}=\frac{1}{5}-\frac{1}{15}$$

$v=7\cdot5$ সে. মি.

অর্থাৎ, বস্তু যেদিকে সেই দিকে 7·5 সে. মি. দূরে প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে।

ম্যাগনিফিকেশন বা বিবর্ধন (Magnification) : বস্তু সম্পর্কে উহার প্রতিবিম্ব যত গুণ বড় সেই সংখ্যা ম্যাগনিফিকেশন নির্দেশ করে।

ম্যাগনিফিকেশন $m=\frac{\text{প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্য}}{\text{বস্তুর দৈর্ঘ্য}}$

আগের চিত্রগুলিতে প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্য pq এবং বস্তুর দৈর্ঘ্য PQ ধরা হইয়াছে,

সুতরাং $m=\frac{pq}{PQ}$

$=\frac{v}{u}$ সংখ্যাত্মক হিসাবে

অঙ্ক : (4) আগের তিনটি অঙ্কের প্রত্যেক ক্ষেত্রে ম্যাগনিফিকেশন নির্ণয় কর।

1নং অঙ্কে $v=30$ সে. মি. সংখ্যাত্মক হিসাবে ,

$u=15$ সে. মি.

$\therefore\ m=\frac{v}{u}=2$

অর্থাৎ, প্রতিবিম্ব বস্তুর তুলনায় দ্বিগুণ বড় (দৈর্ঘ্যে বা প্রস্থে) হইবে।

2নং অঙ্কে $v = 15$ সে. মি.

$u = 60$ সে. মি.

$$m = \frac{v}{u} = \frac{1}{4}.$$

অর্থাৎ, প্রতিবিম্ব বস্তুর তুলনায় $\frac{1}{4}$ অংশ (দৈর্ঘ্যে বা প্রস্থে) হইবে।

3নং অঙ্কে $v = 7{\cdot}5$

$u = 5$

$$\therefore \quad m = \frac{7{\cdot}5}{5} = 1{\cdot}5$$

অর্থাৎ, বস্তুর তুলনায় প্রতিবিম্ব $1\frac{1}{2}$ গুণ বড় (দৈর্ঘ্যে বা প্রস্থে) হইবে।

[**দ্রষ্টব্য ঃ** ক্ষেত্রফল হিসাবে 1নং অঙ্কে ম্যাগনিফিকেশন হইবে $2 \times 2 = 4$ গুণ ; কারণ প্রতিবিম্ব দৈর্ঘ্যে এবং প্রস্থে 2 গুণ বাড়িলে প্রতিবিম্বের ক্ষেত্রফল বস্তুর তুলনায় $2^2 = 4$ গুণ হইবে।

সেইরূপ 2নং অঙ্কে প্রতিবিম্বের ক্ষেত্রফল বস্তুর তুলনায় $\frac{1}{16}$ এবং 3নং অঙ্কে $\frac{9}{4}$ বা 2 25 গুণ হইবে।]

প্রশ্ন

1. লেন্সের সংজ্ঞা বল। লেন্স সম্পর্কে

(a) কোন পৃষ্ঠের বক্রত্বের কেন্দ্র,

(b) প্রধান অক্ষ,

(c) কোন পৃষ্ঠের মেরু বলিলে কি বুঝায় ?

কাগজের সমতলে অবতল এবং উত্তল লেন্সের ছেদ আঁকিয়া তোমার উত্তর ব্যাখ্যা কর।

(Define a lens and with reference to it explain what are meant by the following terms :

(a) Radius of curvature of a face

(b) Principal axis

(c) Pole of a face

Draw sectional diagrams of a convex and a concave lens in the plane of paper and explain your answer with its aid.)

2. লেন্সের উপর একটি আপতিত রশ্মির গতিপথ আঁকিয়া দেখাও যে প্রত্যেক বার প্রতিসরণের সময় প্রতিসরণের সাধারণ নিয়ম মানিয়া চলিলে উত্তল লেন্স অভিসারী এবং অবতল লেন্স অপসারী হইবে।

(By tracing two or more rays through a lens show that a convex lens will be convergent and a concave lens divergent simply because the rays follow the ordinary laws of refraction at the point of incidence of the curved surfaces.)

3. একটি লেন্সের (i) প্রিন্সিপ্যাল ফোকাস, (ii) আলোক-কেন্দ্র এবং (iii) ফোক্যাল লেংথের অর্থ উপযুক্ত চিত্রের সাহায্যে ব্যাখ্যা কর।

(With reference to a lens explain with the aid of suitable diagrams the following terms:

(*a*) Prinicpal focus
(*b*) Optical centre
(*c*) Focal length.)

4. একটি উত্তল লেন্সের প্রধান অক্ষের উপর দণ্ডায়মান অবস্থায় একটি বস্তু বহু দূর হইতে ক্রমে ক্রমে লেন্সের নিকটে আসিতেছে। বস্তুর বিভিন্ন অবস্থানে যেভাবে প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে তাহা চিত্রের সাহায্যে দেখাও।

(An object standing on the principal axis of a convex lens is brought from infinity to very near a convex lens. Draw diagrams to show the different cases of formation of images.)

Additional Numerical Problems

1. An object is placed at a distance of 10 cm. from a convex lens of focal length 5 cm. Where will the image be formed? What will be its magnification? [*Ans.* 10 cm. behind the lens ; 1]

2. An object is placed at a distance of 8 cm. in front of a convex lens of focal length 10 cm. Where will the image be? What is its nature and magnification?
[*Ans.* 40 cm. on the side of the object. Virtual, erect, magnified 5 times]

3. An object 4 cm. in height is placed at a distance of 7·5 cm. from a convex lens of 5 cm. focal length. Where will be the image and what will be its size?
[*Ans.* 15 cm. on the other side of the lens, real ; 8 cm.]

4. An object 11 cm. high is placed at a distance of 12 cm. from a concave lens of focal length 10 cm. Where will the image be and what will be its size?
[*Ans.* $5\frac{5}{11}$ cm. on the same side as the object ; 5 cm.]

5. An object placed at a distance of 15 cm. in front of a convex lens produces an image twice as big as the object, on the other side of the lens. Find the focal length and the image distance. [*Ans.* 10 cm. ; 30 cm.]

6. The magnification produced by a convex lens is 3 times and the focal length is 15 cm. Find the object distance and the image distance.
[*Ans.* 20 cm., 60 cm. ; for real image ; 10 cm., 30 cm., for virtual image]

7. An object is placed at a distance of (i) 10 cm., (ii) 20 cm from a convex lens of focal length 20 cm. Find the nature, the distance of the image and magnification in each case.
[*Ans.* (i) 20 cm. on the same side of the lens, erect magnified twice, virtual ; (ii) at infinity, real, infinitely magnified.]

8. An object is placed at a distance of (i) 10 cm., (ii) 20 cm. from a concave lens of focal length 20 cm. Find the position of the images.
[*Ans.* (i) 6·66 cm. and (ii) 10 cm. from the lens on the same side as the object]

9. An object is placed 120 cm from a concave lens of focal length 20 cm. Find the nature and the distance of the image formed and its magnification.

[*Ans.* $17\frac{1}{7}$ on the same side as the object ; virtual, diminished, $\frac{1}{7}$]

10. An object is placed at a distance of 35 cm. from a convex lens of focal length 17·5 cm. Where will be the image and what will be its magnification ?

[*Ans.* 35 cm. on the other side, same size]

11. A lens forms a real image 3 times the size of the object placed at a distance of 20 cm. from the lens. What kind of lens is it and what is its focal length ? [*Ans.* convex ; 15 cm.]

12. A convex lens forms an erect image 4 times as big as the object placed at a distance of 7·5 cm. from it. Where is the image formed and what is the focal length of the lens ?

[*Ans.* 30 cm. on the same side as the object ; 10 cm.]

13. The area of a real image formed of a picture by a convex lens is 400 times larger than that of the picture itself. If the object be at a distance of 21 cm. from the lens, find its focal length and the image distance.

[*Ans.* 20 cm. ; 420 cm.]

14. A printed letter 4 mm in length is viewed through a convex lens of focal length 18 cm. till it is seen magnified 3 times. What is the distance of the lens from the print ? [*Ans.* 12 cm.]

Public Examination Questions

1. Define focal length of a convergent lens.

Draw a neat diagram to show how a convergent lens forms a real image of a linear object placed perpendicular to the axis of the lens.

Hence deduce a relation between the object distance, the image distance and the focal length of the lens.

Find the position, nature and size of the image of an object 1 inch high, placed in front of a convex lens at a distance of twice the focal length of the lens. (H. S. 1960.) [*Ans.* 1 inch]

2. Explain by a diagram what you mean by the principal focus of a convergent lens

Describe a method of determining the focal length of a convex lens.

An object is placed 30 cm. in front of a convex lens of focal length 10 cm. Where will the image be formed ?

State the nature of the image. How many times is the image magnified or diminished ? (H. S 1961) [*Ans.* 15 cm. on the opposite side ; $\frac{1}{2}$]

3. Distinguish between a Real and a Virtual image.

Show only by diagrams, how a convex lens may be made to give (a) a virtual (b) a real image of an object.

An object 4 cm. long, is placed 100 cm. in front of a convex lens of focal length 20 cm. and perpendicular to the axis of the lens.

What is the position, nature and size of the image formed ?

(H. S. Comp. 1960)

[*Ans.* 25 cm. on the other side of the lens. real ; 1 cm.]

4. Explain what you mean by 'Real' and 'Virtual' images.

Draw diagrams illustrating how (i) a magnified real image, (ii) a magnified virtual image is produced by a convergent lens.

Where must an object be placed in front of a convex lens of focal length 20 cms. in order that the image may be real and magnified three times?

(H. S. Comp. 1961) [*Ans* 26⅔ cm.]

5. Distinguish between a Real and a Virtual image.

Draw typical diagrams to show how the nature of the image changes as an object approaches a convex lens from a large distance.

Where must an object be placed with respect to a convex lens of 1 foot focal length in order that

(*a*) a real image may be formed of the same size as the object

(*b*) a virtual image may be formed 2 feet away from the lens.

[*Ans* (a) 2 ft. ; (b) 8 inches]

6. Define the following terms used in connection with a double convex lens :

(*a*) Optical centre

(*b*) Principal focus

(*c*) Focal length.

Describe a suitable method of determining focal length of a lens in the laboratory. Deduce the formula which you would use for the purpose.

(C. U. I. Sc. 1943)

দ্বিতীয় পাঠ

4.2. উত্তল লেন্সের ফোক্যাল দূরত্ব (Focal Length) নির্ণয় ঃ

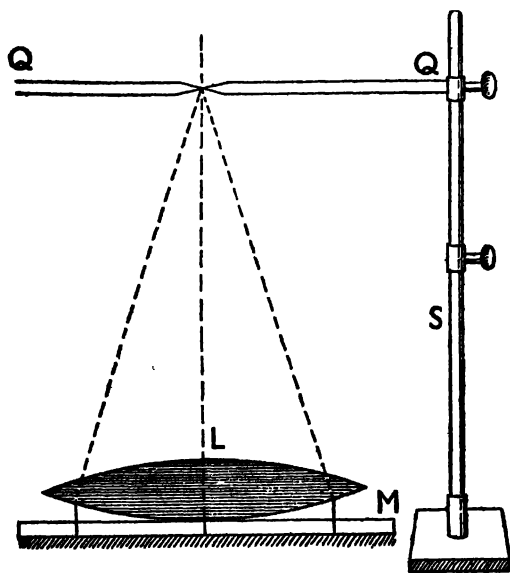
(1) **সমতল দর্পণের সাহায্যে**—একখানা সমতল দর্পণ, একটি লম্বা পিন বা চুলের কাঁটা ও একটি উপযুক্ত স্ট্যাণ্ড ও ক্ল্যাম্পের সাহায্যে সহজে উত্তল লেন্সের ফোক্যাল লেংথ নির্ণয় করা যায়।

যে মূল তত্ত্বের উপর নির্ভর করিয়া ঐ ফোক্যাল লেংথ নির্ণয় করা হয় তাহা এইরূপ।

যদি কোন বিন্দু উত্তল লেন্সের প্রথম প্রধান ফোকাসে থাকে তবে তাহা হইতে অপসারী আলোকগুচ্ছ লেন্সের মধ্য হইতে নির্গত হইবার কালে সমান্তরাল গুচ্ছে নির্গত হয়। আবার যদি কোন সমান্তরাল আলোকগুচ্ছ লেন্সের অপরদিক হইতে আসিয়া লেন্সে আপতিত হয় তবে লেন্স হইতে নির্গত হইয়া ঐ আলোকগুচ্ছ লেন্সের দ্বিতীয় প্রধান ফোকাসে কেন্দ্রীভূত হয়। যেহেতু লেন্সের উভয় দিকে বায়ু রহিয়াছে, উহার ফোক্যাল লেংথ উভয় দিকেই সমান হইবে। সুতরাং F বিন্দু

হইতে অপসৃত আলোক-রশ্মি লেন্সের ভিতর দিয়া চলিয়া যদি কোন সমতল দর্পণে লম্বভাবে আপতিত হয় তবে ঐ আলোকগুচ্ছের প্রত্যেক রশ্মি উহার আগের পথ ধরিয়া ফিরিয়া আসিয়া আবার F বিন্দুতেই কেন্দ্রীভূত হইবে। যদি ঐ প্রকার ব্যবস্থায় বস্তু এবং উহার সদ্‌বিম্ব একই স্থানে মিলিত হইয়াছে দেখা যায় তবে ঐ স্থান হইতে লেন্সের দূরত্ব মাপিলেই লেন্সের ফোক্যাল লেংথ পাওয়া যাইবে।

পরীক্ষা ঃ জানালার নিকটে টেবিলের উপর আয়নাখানা এমনভাবে রাখ যেন উহার স্বচ্ছ দিক উপর দিকে থাকে। আয়নার উপর লেন্সখানা রাখ। লম্বা পিনটিকে ক্ল্যাম্পের সাহায্যে অনুভূমিকভাবে আটকাইয়া লও এবং উহাকে এমন স্থানে রাখ যে ঐ পিনের অগ্রভাগ যেন বরাবর লেন্সের মধ্যবিন্দুর উপরে থাকে।

পিনের অবস্থানের নিকটস্থ স্থানের প্রতি দৃষ্টি রাখিয়া (লেন্সের মধ্যে নীচে কিছু দেখিতে চেষ্টা করিও না) ঐ পিনের উল্‌টানো প্রতিবিম্ব কোথায় গঠিত হইয়াছে লক্ষ্য কর। প্রতিবিম্ব দেখিতে পাইলে ক্ল্যাম্পের সাহায্যে পিনটিকে এমন স্থানে স্থাপন কর যেন প্রতিবিম্বের সূক্ষ্ম অগ্রভাগ পিনটির সূক্ষ্ম অগ্রভাগের সহিত মিলিত হয়। চোখ নাড়িয়া দেখ প্রতিবিম্ব এবং পিনের মিলিত অগ্রভাগ ফাঁক হয় কি না, হইলে পিনের অবস্থান আর একটু কম বেশী করিয়া যাহাতে ঐরূপ ফাঁক না হয় তাহার ব্যবস্থা কর।

আয়নার সাহায্যে উত্তল লেন্সের ফোক্যাল লেংথ নির্ণয়

লেন্সের সমতল হইতে পিনের দূরত্ব এবং দর্পণের সমতল হইতে পিনের দূরত্ব মাপিয়া উহার গড় বাহির কর। ইহাই লেন্সের ফোক্যাল লেংথ হইবে। সাধারণত উত্তল লেন্সগুলি সমউত্তল (Equiconvex) হয়; সুতরাং লেন্স হইতে F-এর দূরত্ব যত পাওয়া যায় তাহার

সহিত লেন্সের বেধের অর্ধেক যোগ করিলে আলোক-কেন্দ্র হইতে ঐ দূরত্ব—অর্থাৎ, ফোক্যাল লেংথ পাওয়া যাইবে। আগেরর মত গড় বাহির করিলে ঐ দূরত্বই নির্ণেয় ফোক্যাল লেংথ হইবে।

(2) u-v প্রণালী—(u-v Method) :

তত্ত্ব (Theory) : এই প্রণালী যে মূলতত্ত্বের উপর নির্ভর করে তাহা এইরূপ : আমরা জানি লেন্স দ্বারা গঠিত প্রতিবিম্ব, বস্তু ও ফোকাসের দূরত্বের সহিত নিম্নলিখিত সম্পর্ক বজায় থাকে।

$$\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$$

যদি উত্তল লেন্স সদ্‌বিম্ব গঠন করে তবে v এর দূরত্ব নেগেটিভ হয় এবং ঐ লেন্সের পক্ষে f সর্বদা নেগেটিভ, সুতরাং এক্ষেত্রে

$$\frac{1}{-v}-\frac{1}{u}=-\frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$$

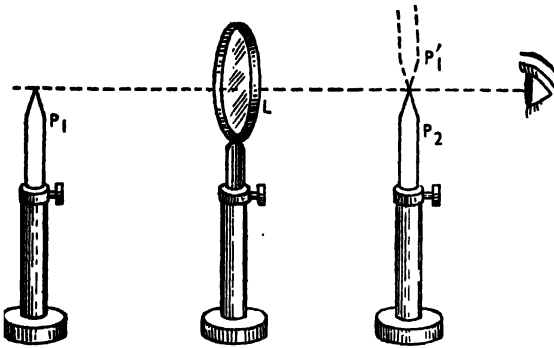
অর্থাৎ, উত্তল লেন্স, **প্রকৃত প্রতিবিম্ব** বা **সদ্‌বিম্ব** গঠন করিলে বস্তুর দূরত্ব, প্রতিবিম্বের দূরত্ব এবং ফোকাস-দূরত্বের মধ্যে ঐ সম্পর্ক থাকে। এই সূত্রে u, v এবং f এর শুধু মান বসাইতে হইবে—পজিটিভ, নিগেটিভ ভাবিতে হইবে না।

সুতরাং লেন্স হইতে বস্তুর দূরত্ব এবং প্রকৃত প্রতিবিম্বের দূরত্ব জানিলে ফোকাস-দূরত্ব নির্ণয় করা যায়।

পরীক্ষা : দুইটি স্ট্যাণ্ডের মধ্যে পেন্সিলের মত মোটা দুইটি পিতলের পিন বসানোর ব্যবস্থা আছে। ঐগুলিকে ইচ্ছামত কিছুটা উঁচুনীচুও করা যায়। অনুরূপ আর একটি স্ট্যাণ্ডে একটি উত্তল লেন্স বসাইবার ব্যবস্থা আছে।

দুইটি ক্ল্যাম্পে দুইটি পিন এবং একটিতে প্রদত্ত উত্তল লেন্স বসাও। লেন্সের দুইদিকে দুইটি পিন স্থাপন কর; লেন্সের পোল (pole) এবং পিনগুলির শীর্ষবিন্দু যাহাতে একই লেভেলে থাকে সেইরূপ ব্যবস্থা কর। টেবিলের উপর একটি সরলরেখা টানিয়া সেই সরলরেখায় স্ট্যাণ্ড তিনটি বসাইলে ভাল হয়।

যে-কোন এক দিক হইতে লেন্সের পশ্চাতের পিনটি দেখ। যতক্ষণ পিনের

বড় প্রতিবিম্ব দেখিতে পাইবে ততক্ষণ পশ্চাতের পিন হইতে লেন্স সামনের দিকে সরাইয়া আন, শেষে আর লেন্সের ভিতর দিয়া তাকাইলে প্রতিবিম্ব দেখা যাইবে না। তখনও লেন্সকে আরও কিছু দূর সামনের দিকে আগাইয়া আন।

u-v প্রণালীতে উত্তল লেন্সের ফোক্যাল লেংথ নির্ণয় প্রণালী

এখন লেন্সের সম্মুখে ফাঁকা জায়গায় লক্ষ্য করিলে পশ্চাতের পিনের একটি উল্টানো প্রকৃত প্রতিবিম্ব স্পষ্ট দেখা যাইবে—লেন্সের ভিতরে তাকাইলে কিছু দেখা যাইবে না, সম্মুখে সরলরেখাক্রমে চোখ রাখিয়া ঐ প্রতিবিম্ব দেখিতে চেষ্টা করিতে হইবে। দূর হইতে দেখিলে প্রতিবিম্ব সহজে দেখা যাইবে।

প্রতিবিম্ব দেখিতে পাইলে অন্য পিনটি আনিয়া এমনভাবে বসাও যে উহার শীর্ষ যেন উল্টানো প্রতিবিম্বের শীর্ষের সঙ্গে মিলিয়া যায়। চোখ দুইপাশে নাড়িয়াও যখন দেখা যাইবে যে প্রথম পিনের প্রতিবিম্ব এবং দ্বিতীয় পিনের মধ্যে ফাঁক হয় না, তখন স্কেল দ্বারা লেন্স হইতে প্রত্যেক পিনের দূরত্ব মাপিয়া লও। একটি দূরত্বকে u এবং অপর দূরত্বকে v ধরিয়া

$$\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f}.$$

এই সূত্রে প্রয়োগ করিলে fএর মান নির্ণীত হইবে। কারণ আগে যে দিক হইতে দেখিয়া দ্বিতীয় পিন এবং প্রথম পিনের প্রতিবিম্ব মিলানো হইয়াছে, উহার বিপরীত দিক হইতে এখন দেখিলে দেখা যাইবে যে প্রথম পিনের সহিত দ্বিতীয় পিনের প্রতিবিম্ব মিলিয়া রহিয়াছে। সুতরাং $LP_1=u$ হইলে $LP_2=v$ এবং LP_2কে u ধরিলে LP_1কে v ধরা যাইবে।

প্রশ্ন

1. সমতল দর্পণের সাহায্যে যেভাবে উত্তল লেন্সের ফোক্যাল লেংথ নির্ণয় করা যায় তাহার তত্ত্ব (theory) বল এবং পরীক্ষা বর্ণনা কর।

(Explain with the necessary theory how you would find the focal length of a convex lens with the help of a plane mirror.)

2. u-v প্রণালীতে কিভাবে উত্তল লেন্সের ফোক্যাল লেংথ নির্ণয় করা চলে ?

(Describe the u-v method for the determination of the focal length of a convex lens.)

তৃতীয় পাঠ

4.3. বিচ্ছুরণ (Dispersion) ঃ

সাধারণত সূর্যালোকের বিভিন্ন বর্ণের আলোককে প্রতিসরণ দ্বারা (অথবা অন্য উপায়ে) বিভিন্ন দিকে চালিত করিয়া বিভিন্ন বর্ণে বিভক্ত করাকে **বিচ্ছুরণ** বলে।

প্রকৃতপক্ষে যে কোন কয়েক প্রকার মিশ্রিত বর্ণের আলোককে ঐ ভাবে পৃথক করাকেই বিচ্ছুরণ বলা চলে।

বিচ্ছুরিত আলোক কোন পর্দায় পড়িলে বর্ণালী সৃষ্ট হয়।

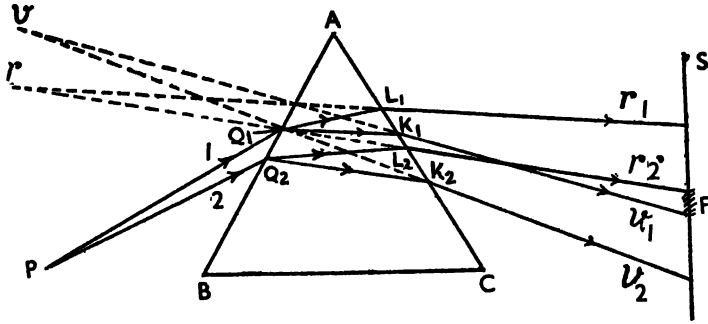
4.31. বিশুদ্ধ বর্ণালী গঠন ঃ

পূর্বে যে বর্ণালীর কথা বলা হইয়াছে তাহা বিশুদ্ধ বর্ণালী নহে। বিশুদ্ধ বর্ণালীতে এক বর্ণ অপর বর্ণের সহিত মিশ্রিত হয় না। বর্ণালী বলিতে আমরা সাধারণত কোন স্লিটের মধ্য দিয়া নির্গত সূর্যালোক প্রিজমের ভিতর দিয়া গিয়া (অথবা অন্য উপায়ে) সাতটি বর্ণে বিচ্ছুরিত হইয়া কোন সাদা পর্দায় পড়িয়া উহাকে যেভাবে আলোকিত করে তাহাই বুঝিয়া থাকি। পর্দায় আলোক পড়িয়া যে বর্ণালী সৃষ্ট হয় তাহাকে প্রকৃত বর্ণালী বা সৎ বর্ণালী বলা হয়।

কিন্তু চোখের খুব নিকটে প্রিজম ধরিয়া দূরের সূর্যালোকিত বস্তু দেখিলে বস্তুগুলির সীমারেখায়ও বর্ণালীর বর্ণগুলি দেখা যায়। ঐ বর্ণালী অলীক বা অপ্রকৃত বর্ণালী। কেবল প্রিজম দ্বারা গঠিত অলীক বর্ণালী বিশুদ্ধ হয়, কিন্তু কেবল প্রিজম দ্বারা গঠিত প্রকৃত বর্ণালী বিশুদ্ধ হয় না। ইহার কারণ পরবর্তী পৃষ্ঠায় চিত্রে ব্যাখ্যা করা হইল।

আলোকের উৎস বিন্দুবৎ হইলেও উহা হইতে একাধিক রশ্মি প্রিজমের উপর পতিত হইবে।

মনে কর P বিন্দু হইতে 1 এবং 2 চিহ্নিত রশ্মিগুলি প্রিজমের উপর দুইটি পাশাপাশি বিন্দুতে আপতিত হইল। 1নং রশ্মি PQ_1 হইতে প্রিজমের মধ্যে Q_1L_1, Q_1K_1 রেখায় আলোক প্রতিসরিত হইয়া প্রিজমের দ্বিতীয় পৃষ্ঠ হইতে

L_1r_1 এবং K_1v_1 পথে নির্গত হইয়া S পর্দায় r_1v_1 স্থান জুড়িয়া বর্ণালী প্রস্তুত করিবে এবং 2নং রশ্মি হইতে অনুরূপভাবে r_2v_2 স্থান জুড়িয়া বর্ণালী পড়িবে। ফলে

পর্দার F স্থানে কয়েকটি বর্ণের সংমিশ্রণ হইবে। অর্থাৎ বর্ণালী অবিশুদ্ধ হইবে। কিন্তু r_1v_2র মধ্যে চোখ রাখিলে v হইতে rএর মধ্যে সাতটি বর্ণ পৃথক দেখা যাইবে। ঐ অপ্রকৃত বর্ণালী বিশুদ্ধ হইবে।

r_2v_1 স্থানের মধ্যে প্রথম বর্ণালীর নীল, বেগুনী প্রভৃতি রশ্মির সহিত দ্বিতীয় বর্ণালীর লাল, কমলা প্রভৃতি রশ্মি মিলিয়া যাইবে।

সুতরাং ঐ বর্ণালী বিশুদ্ধ হইবে না। যদি P বিন্দু লাল আলোক বিকিরণকারী উৎস হয় তবে প্রিজম হইতে নির্গত r_1r_2 রশ্মিগুলির মধ্যে শুধু লাল বর্ণের আলোক পড়িবে এবং ঐ রশ্মিগুলি যাহার চোখে পড়িবে সে (ABC প্রিজম অবম বিচ্যুতির অবস্থানে থাকিলে) r বিন্দু হইতে লাল আলোক আসিতেছে মনে করিবে। সেইরূপ বেগুনী বর্ণের উৎস P-তে থাকিলে এবং তাহার চোখে v_1v_2 রশ্মিগুলি প্রবেশ করিলে দর্শক v বিন্দু হইতে বেগুনী বর্ণের আলোক আসিতেছে মনে করিবে।

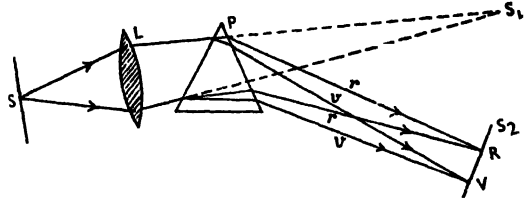
সুতরাং ঐভাবে দেখিলে বুঝা যাইবে যে P বিন্দুতে সাদা আলোকের উৎস থাকিলে—অর্থাৎ, একই সঙ্গে বর্ণালীর সকল বর্ণের আলোক থাকিলে—দর্শক এক এক বর্ণের আলোক এক একটি পৃথক বিন্দু হইতে আসিতেছে দেখিবে। অর্থাৎ, দর্শক বিশুদ্ধ অলীক বর্ণালী দেখিবে।

কিন্তু পর্দায় যে বর্ণালী দেখা যাইবে তাহা অবিশুদ্ধ হইবে।

লেন্সের সাহায্য লইলে বিশুদ্ধ প্রকৃত বর্ণালী পর্দায় ফেলা যায়।

4.32. পর্দায় বিশুদ্ধ বর্ণালী প্রস্তুত করণ :

(1) একটি উত্তল লেন্স দ্বারা—S স্লিট, L উত্তল লেন্স, P প্রিজম এবং S_1

পর্দা এক উচ্চতায় সাজাইয়া অন্ধকার ঘরে রাখ। S স্লিটের সম্মুখে একটি বুনসেন্-দীপ নিষ্প্রভভাবে জ্বালাইয়া রাখ। একটু asbestosকে লবণ জলে ডুবাইয়া ঐ বুনসেন্-বাতির সর্বাপেক্ষা উত্তপ্ত অংশে রাখিলে ঐ বাতি উজ্জ্বল পীতবর্ণ ধরিবে। উহাকে সোডিয়াম আলোক (Sodium light) বলা হয়।

একটি উত্তল লেন্স দ্বারা প্রকৃত বিশুদ্ধ বর্ণালী পর্দায় ফেলিবার ব্যবস্থা

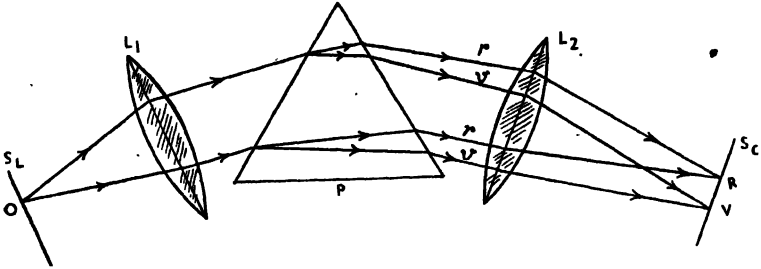
লেন্সের সাহায্যে দূরে স্লিটের একটি প্রকৃত প্রতিবিম্ব গঠন করিয়া S_1 স্থানে পর্দায় ফেল। এখন লেন্স এবং পর্দার মাঝখানে আলোকের পথে P প্রিজমটি বসাও যাহাতে উহার শির খাড়া হইয়া স্লিটের সমান্তরাল থাকে। পর্দার উপর আর প্রতিবিম্ব দেখা যাইবে না—কারণ, প্রতিবিম্ব এখন প্রিজমের ভূমির দিকে বাঁকিয়া যাইবে। পর্দা ঐ দিকে সরাইয়া উহাতে স্লিটের প্রতিবিম্ব ফেল। এখন প্রিজমকে ঘুরাইয়া minimum deviation এর অবস্থানে আন।

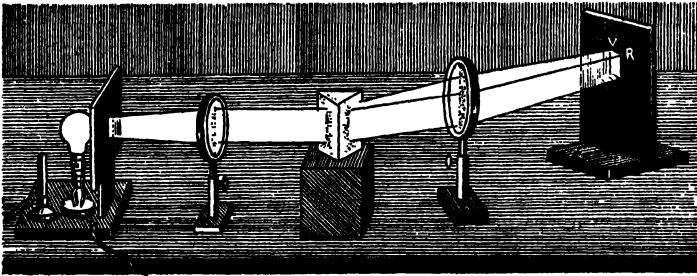
এইবার ঐ ব্যবস্থা যথাযথ রাখিয়া স্লিটের পশ্চাৎ হইতে বুনসেন্-বাতি সরাইয়া বৈদ্যুতিক আলোক বসাও, বা বাহির হইতে সূর্যালোক প্রতিফলিত করিয়া ফেল, পর্দায় বিশুদ্ধ বর্ণালী গঠিত হইবে।

কারণ, হলুদ বর্ণের স্লিটের প্রতিবিম্বের ন্যায় এখন প্রত্যেক বর্ণের প্রতিবিম্ব গঠিত হইয়া বিভিন্ন স্থান দখল করিবে এবং বর্ণালীর এক বর্ণ অপর বর্ণের সহিত মিলিত হইবে না।

(2) **দুইটি উত্তল লেন্স দ্বারা** নিম্নলিখিত ব্যবস্থায় প্রকৃত বিশুদ্ধ বর্ণালী প্রস্তুত করা যায়।

প্রথমে অন্ধকার ঘরে সোডিয়ামের আলো (Sodium light) প্রস্তুত করিয়া স্লিটের পশ্চাতে রাখিতে হইবে। স্লিটের সম্মুখে একটি উত্তল লেন্স এমনভাবে বসাও যে স্লিট যেন ঐ লেন্সের প্রথম ফোকাসে থাকে। ঐ লেন্স L_1 হইতে সমান্তরাল আলোক-রশ্মি নির্গত হইবে। ঐ সমান্তরাল আলোকগুচ্ছের পথে একটি প্রিজম বসাইয়া উহাকে উহার minimum deviation অবস্থানে আন। পরে প্রিজম এবং

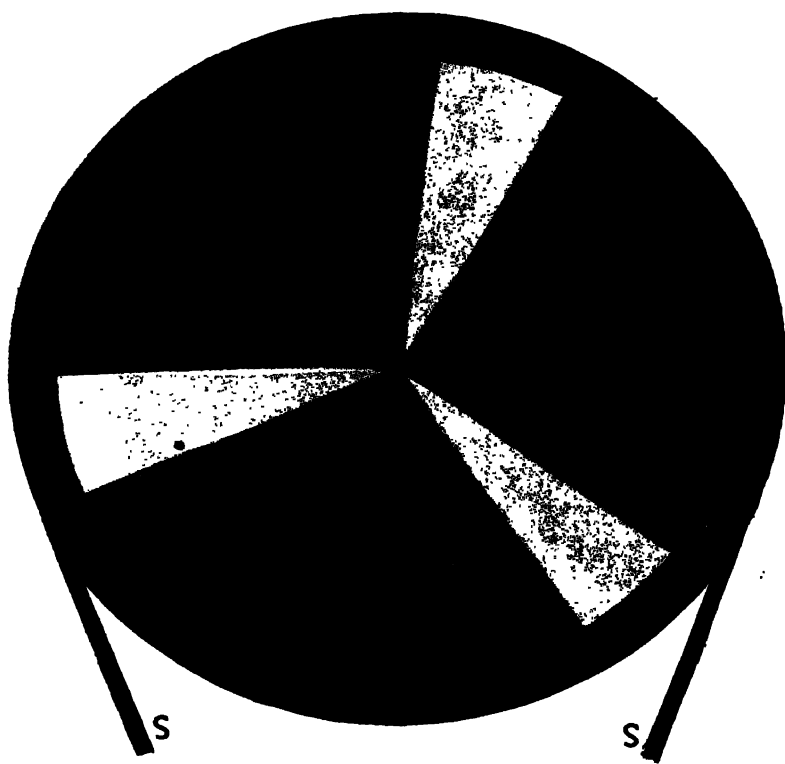
পর্দার মাঝখানে আবার একটি উত্তল লেন্স L_2 বসাও। ঐ লেন্সের দ্বিতীয় ফোকাসে প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে।

দুইটি লেন্স দ্বারা বিশুদ্ধ বর্ণালী প্রস্তুতের ব্যবস্থা

এখন Sodium light বদলাইয়া বৈদ্যুতিক বাতি বা সূর্যালোক দ্বারা স্লিট আলোকিত কর। পর্দায় বিশুদ্ধ বর্ণালী গঠিত হইবে। প্রত্যেক বর্ণের সমান্তরাল রশ্মির আপতিত আলোক প্রিজমের ভিতরে এবং নির্গমনের পর নিজেদের সহিত সমান্তরাল থাকিবে কিন্তু বিভিন্ন সমান্তরালগুচ্ছ বিভিন্ন দিকে অগ্রসর হইবে। সুতরাং বিভিন্ন বর্ণের সমান্তরাল আলোকগুচ্ছ দ্বিতীয় উত্তল লেন্স দ্বারা বিভিন্ন বিন্দুতে কেন্দ্রীভূত হইবে। কাজেই বর্ণালীতে এক বর্ণ অপর বর্ণের সঙ্গে মিলিত হইবে না।

বিশুদ্ধ বর্ণালী গঠন করা

প্রকৃত বিশুদ্ধ বর্ণালী প্রস্তুত করিবার পক্ষে ইহাই সর্বোত্তম ব্যবস্থা। পৃথক চিত্রে বর্ণালী প্রস্তুত করিবার ব্যবস্থা দেখানো হইল।

4.33. সাদা বর্ণ বর্ণালীর সাত বর্ণের সমষ্টি ঃ

পূর্বে 72 পৃষ্ঠায় এ-সম্পর্কে দুইটি পরীক্ষার কথা উল্লেখ করা হইয়াছে। এস্থলে আরও দুইটি ব্যবস্থা উল্লিখিত হইতেছে।

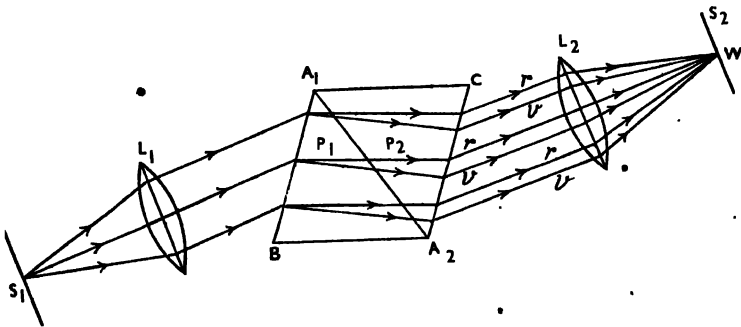
বর্ণালী

নিউটনের আলোকচক্র

SS—মোটা সুতা ঘূর্ণনচক্রে সংযুক্ত

(1) নিউটনের আলোকচক্র দ্বারা—বর্ণালীর সাত বর্ণের আলোক হইতেই যে সাদা আলোক উৎপন্ন হয় তাহা বুঝাইবার জন্য নিউটন একটি চক্রকে চারিটি সমকোণে ভাগ করিয়া প্রত্যেক সমকোণের মধ্যে বর্ণালীর সাতটি রং-এর প্রত্যেক বর্ণ বর্ণালীতে যে অনুপাতে স্থান দখল করে সেই অনুপাতে পর পর ঐরূপ রং করিয়া রাখিয়াছিলেন। ঐ চক্রকে খুব তাড়াতাড়ি ঘুরাইয়া উহার দিকে তাকাইলে কোন বিশেষ বর্ণ দেখা যাইবে না—বর্ণালীর সাত বর্ণের অনুভূতি অতি অল্প সময়ের মধ্যে গ্রহণ করিবার ফলে দর্শক ঐ ঘূর্ণায়মান চক্রকে মোটামুটি সাদা দেখিবে। প্রকৃতপক্ষে উহার বর্ণ ঠিক সাদা হইবে না, অনেকটা ছাই রং-এর দেখা যাইবে।

স্প্রিং যুক্ত লাটিমের গায়ে বর্ণালীর বিভিন্ন রং লাগাইয়া লাটিম ঘুরাইলেও অনুরূপ ব্যাপার দেখা যায়।

(2) বর্ণালীর আলোকের পুনর্মিলন দ্বারা—যদি একটি প্রিজম P_1 দ্বারা বিশুদ্ধ বর্ণালী প্রস্তুত করিয়া উহার সঙ্গে ঐ একই প্রকার কাঁচ হইতে নির্মিত সমান মাপের—অর্থাৎ, সমান প্রতিসরণ কোণ সম্বলিত—P_2 প্রিজমের প্রতিসরণ কোণ বিপরীতভাবে রাখিয়া দুই প্রিজম একত্র বসানো হয়, এবং ঐ আলোক কোন পর্দায় ধরা হয় তবে পর্দায় প্রায় সাদা বর্ণের আলোক পড়িয়াছে বলিয়া মনে হয়।

যদি দ্বিতীয় প্রিজম হইতে নির্গত আলোক একটি উত্তল লেন্স দ্বারা পর্দায় ফেলা যায়, তবে S_2 পর্দায় একটি সাদা স্লিটের প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে। ইহা দ্বারা বর্ণালীর রং সংশ্লিষ্ট করিলে যে সাদা আলোক পাওয়া যায় তাহা প্রমাণিত হইল।

বর্ণালীর বর্ণগুলিকে একত্র করিলে সাদা বর্ণ হয়

একটি প্রিজমের ভিতর দিয়া সূর্যালোক প্রতিসরিত করিয়া প্রতিসরিত বিভিন্ন বর্ণের আলোক রশ্মিগুলি সাতটি পৃথক আয়নায় ফেলিয়া আয়নাগুলি বিভিন্ন কোণে ঘুরাইয়া ঐ রশ্মিগুলিকে কোন পর্দার একই স্থানে ফেলিলে ঐ স্থান সাদা দেখা

সুতরাং 'সাদা' আলোক হইতে আমরা প্রিজম দ্বারা সাত বর্ণের আলোক পাই আবার ঐ সাত বর্ণের আলোক হইতে সাদা আলোক পাওয়া যায়। ইহাতে সাদা আলোক যে সাত বর্ণের আলোকের সমষ্টি তাহা নিঃসন্দেহে প্রমাণিত হয়।

4.34. *বস্তুর বর্ণঃ

সূর্যালোকে যে বস্তুকে যে বর্ণের দেখা যায় সেই বর্ণকেই ঐ বস্তুর আসল বর্ণ বলা হয়। সাদা কাগজে বা কাপড়ে লাল বর্ণের আলোক ফেলিলে উহাকে লাল দেখা যায়, তাই বলিয়া ঐগুলির আসল বর্ণ লাল নহে।

রক্তজবা ফুলের বর্ণ লাল। ইহার অর্থ এই যে, সূর্যালোকে জবাফুল লাল দেখায়। জবাফুল হইতে আমাদের চোখে যে আলোক আসিয়া পড়ে তাহা দ্বারাই আমরা জবাফুল দেখিতে পাই। সুতরাং জবাফুল আমাদের চোখে লাল আলোক পাঠায়। কিন্তু সূর্যের আলোক জবাফুলের উপর পড়িলে বর্ণালীর সাত বর্ণের আলোকই উহার উপর পড়িবে, অথচ ইহা আমাদের চোখে কেবল লাল আলোক পাঠাইতেছে। কাজেই বুঝা গেল, উহা সূর্যালোক হইতে বর্ণালীর আর সব রং শোষণ করিয়া লইয়া কেবল লাল রং প্রতিফলিত করিতেছে।

কিন্তু কোন জিনিসের সাময়িক রং কেবল উহার নিজস্ব ধর্মের উপর নির্ভর করে না—উহার উপর কি বর্ণের আলোক পড়িতেছে তাহার উপরও নির্ভর করে।

যদি ঘরে নীল রং-এর বাতি জ্বলিতে থাকে এবং ঐ ঘরে জবাফুল আনা যায়, তবে জবাফুলকে কি বর্ণের দেখা যাইবে? উহাকে কালো দেখা যাইবে। কারণ, জবা-ফুল লাল রং ভিন্ন অন্য বর্ণের আলোক ফিরাইয়া দিতে পারে না—শোষণ করিয়া লয়। নীল আলোক উহার উপর পড়িলে উহা নীল আলোক শোষণ করিয়া লইবে এবং আমাদের চোখে জবাফুল হইতে কোন আলোকই ফিরিয়া আসিবে না, ফলে উহাকে আমরা কালো দেখিব। কারণ, যে বস্তু হইতে আমাদের চোখে কোন আলোক আসে না, তাহাই আমরা কালো দেখি।

লাল কাঁচকে আমরা লাল দেখি প্রধানত উহার প্রতিসরিত আলোকে। লাল কাঁচের ভিতর দিয়া সাদা আলোক চলিলে, লাল কাঁচ ঐ সাদা আলোক হইতে লাল ভিন্ন অন্য সব রং শোষণ করিয়া লয়, সুতরাং কেবল লাল আলোক উহার ভিতর দিয়া অন্য দিকে বাহিরে আসিতে পারে। আমরা ঐ আলোকে কাঁচখানাকে লাল দেখি।

একটি লাল কাঁচের পশ্চাতে নীল কাঁচ রাখিয়া উহার পশ্চাতে চোখ রাখিয়া উভয় কাঁচের ভিতর দিয়া কোন বস্তু দেখিলে উহাকে আমরা কালো

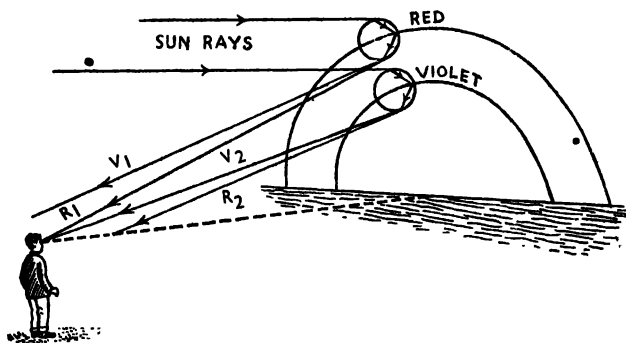
দেখিব। কারণ, লাল কাঁচ লাল ভিন্ন অন্য কোন বর্ণের আলোক ইহার মধ্য দিয়া পাঠাইবে না এবং নীল কাঁচ নীল ভিন্ন অন্য কোন বর্ণের আলোক তাহার মধ্য দিয়া পাঠাইবে না। সুতরাং লাল কাঁচের পরে রক্ষিত নীল কাঁচ, নীল ভিন্ন অন্য আলোক শোষণ করিয়া ফেলে বলিয়া আপতিত লাল আলোকও শোষণ করিয়া লইবে। ফলে ঐ দুই কাচের মধ্য দিয়া কোন আলোকই আসিয়া আমাদের চোখে পৌছিবে না; অর্থাৎ, যে বস্তু হইতে আলোক আসিতেছে তাহা সাদা হইলেও আমরা উহাকে কালো দেখিব।

যে কোন অস্বচ্ছ বস্তুর বর্ণ উহা দ্বারা প্রতিফলিত আলোকের বর্ণের উপর নির্ভর করে এবং স্বচ্ছ বস্তুর বর্ণ উহা হইতে প্রতিসরিত আলোকের বর্ণের উপর নির্ভর করে।

কিন্তু বর্ণালীর সাতটি বর্ণ ব্যতীত আরও অসংখ্য বর্ণের বস্তু দেখা যায়। তাহার কারণ ঐ সকল বস্তু সাদা আলোক হইতে বিভিন্ন রং বিভিন্ন অনুপাতে শোষণ করিয়া লয় ও ভিন্ন ভিন্ন অনুপাতে প্রতিফলিত করে—এককথায় ঐ সকল বর্ণ বর্ণালীর মূল বর্ণগুলির নানাপ্রকার সংমিশ্রণ।

সকল প্রকার বর্ণের আলোকের অভাবই কালো বর্ণ এবং সকল প্রকার বর্ণের সমাবেশই সাদা বর্ণ। সুতরাং কালো ও সাদা পৃথক বর্ণ নহে।

4.35. রামধনুর বর্ণঃ

প্রিজম যেমন সূর্যালোককে সাত বর্ণের আলোকে বিচ্ছুরিত করিতে পারে, সেইরূপ বৃষ্টির ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কণাও সূর্যালোককে বিভক্ত করিতে পারে।

প্রাথমিক রামধনু : উপরে লালবর্ণ এবং সকলের নীচে বেগুনী, মাঝে অন্যান্য বর্ণ।

সূর্যের বিপরীত দিকে কণা কণা বৃষ্টিপাত হইতে থাকিলে সূর্যালোক গোল বৃষ্টি-কণাগুলির মধ্যে প্রবেশ করিয়া ভিতরে এক বা একাধিক বার প্রতিফলিত হইয়া বাহির হইবার সময়ে সাত বর্ণের আলোকে বিচ্ছুরিত হয়।

বিভিন্ন জলবিন্দু হইতে বিচ্ছুরিত বিভিন্ন বর্ণের আলোক দর্শকের চোখে আসিয়া পড়িলে দর্শক ঐ জলবিন্দুগুলিকে বিভিন্ন বর্ণের দেখে।

সাধারণত একই সঙ্গে দুইটি রামধনু দেখা যায়। ইহাদের মধ্যে নীচেরটিই বেশী উজ্জ্বল হয় এবং অনেকে উপরেরটি কম উজ্জ্বল বলিয়া লক্ষ্য করে না। নীচের রামধনুকে **প্রাথমিক রামধনু** বলে। জলবিন্দুর মধ্যে সূর্যের আলোক-রশ্মি একবার প্রতিফলিত হইয়া জলবিন্দু হইতে নির্গত হইয়া বিচ্ছুরিত হইলে প্রাথমিক রামধনু সৃষ্ট হয়। ইহাতে 'বেনীআসহকলা' বর্ণগুলি নীচের দিক হইতে উপরের দিকে বিন্যস্ত থাকে। দ্বিতীয় রামধনুতে বর্ণবিন্যাস ইহার বিপরীত ক্রমে থাকে। এক্ষেত্রে জলবিন্দুর মধ্যে সূর্যরশ্মি দুইবার প্রতিফলিত হইয়া নির্গত হয়।

প্রশ্ন

1. বিশুদ্ধ এবং অবিশুদ্ধ বর্ণালী বলিলে কি বুঝায়? একটি লেন্সের সাহায্যে কিভাবে বিশুদ্ধ বর্ণালী পর্দায় ফেলা যায় চিত্রের সাহায্যে বর্ণনা কর। বর্ণালীর বর্ণগুলির নাম বল।

(What are meant by an impure and a pure spectrum ? Describe how a real pure spectrum can be thrown on the screen with the aid of a single lens. Name the colours of the spectrum in order.)

2. দুইটি লেন্স দ্বারা কিভাবে বিশুদ্ধ বর্ণালী প্রস্তুত করা যায়? চিত্র সহ বর্ণনা কর।

(Describe with the aid of a diagram how a pure spectrum can be formed with the aid of two convex lenses ?)

3. বর্ণালীর আলোকের পুনর্মিলন দ্বারা কিভাবে দেখানো যায় যে সাদা আলোক সাত বর্ণের আলোকের সমষ্টি?

(How can it be demonstrated by recomposing the spectral colours that white light consists of seven colours ?)

4. স্বচ্ছ এবং অস্বচ্ছ বস্তুর বর্ণ ব্যাখ্যা কর।

(a) একটি নীল অপরাজিতা ফুল (i) নীল আলোকে কিরূপ দেখাইবে? (ii) লাল আলোকে কিরূপ দেখাইবে? তোমার উত্তরের কারণ লিখ।

(b) একটি লাল কাঁচের ভিতর দিয়া (i) রক্তজবা ফুল দেখিলে কিরূপ দেখাইবে? (ii) নীল অপরাজিতা ফুল দেখিলে কিরূপ দেখাইবে? তোমার উত্তরের কারণ লিখ।

(Explain the colours of transparent and opaque objects.

(a) What colour will be a blue flower *(i)* in blue light ? *(ii)* in red light ? Give reasons for yorr answer.

(b) A red flower and a blue flower are seen through a red glass. What colour will the flower appear to be ? Give reasons for your answer.)

5. রামধনুর বর্ণের সমাবেশ নীচ হইতে উপর দিকে কিরূপ হয় উল্লেখ কর।

(State the order of the colours in a rainbow beginning from the inner circle.)

Public Examination Questions

1. What is dispersion of light ? What are the colours seen in a rainbow ? Describe an experiment to prove that the colours of the rainbow are present in white light.
Give a neat diagram. (H. S. 1961.)

2. Explain—
The image of a pin seen through a glass prism by sunlight, appears coloured.
(Part Question) (H. S. Comp. 1960)

3. Describe any two methods of recombining to form white light, the various kinds of light obtained in a spectrum. (C. U. I. Sc. 1946)

4. Why does a white object look coloured when seen through a prism ?
What is a spectrum ?
How is a pure spectrum formed ? (C. U. I. Sc. 1952)

5. Describe how a pure spectrum may be made visible on a screen.
If in addition to the prism already used, you have a second prism where and how would you place it to recombine the colours into white light ?
(C. U. I. Sc. 1954)

Samples of Questions for Informal Objective Test

আলোক

(নির্দেশ সর্বত্র প্রথম পৃষ্ঠার নির্দেশের অনুরূপ)

Recall type.

(1) ছায়ার যে অংশ হইতে উৎসের কোন অংশ দেখা যায় না তাহার নাম —
(2) বায়ুর মধ্যে আলোকের বেগ সেকেণ্ডে —

2. Completion type.

(1) প্রত্যেক বস্তু হইতে মূলত——(1)
আলোকগুচ্ছ নির্গত হয় ; —(1)
বস্তু যদি খুব দূরে থাকে তবে ঐ আলোকগুচ্ছকে—— (2)
মনে করা চলে ; কিন্তু বস্তু যেখানেই —(2)
থাকুক ইহা হইতে——(3)
আলোকগুচ্ছ পাওয়া যাইবে না। —(3)
ঐ প্রকার আলোকগুচ্ছ পাইতে হইলে —(4)
কোন না কোন——(4)
সাহায্য লইতে হইবে

3. Alternate response type.

(a) True or False type.

(1) স্বচ্ছ বস্তুও আলোক প্রতিফলিত করে —
(2) প্রতিসরাঙ্ক সর্বদা 1 এর চেয়ে বেশী হইবে —

(b) Yes or Not type.

(1) সংকট কোণ 90°র বেশী হইতে পারে কি ? —
(2) প্রতিবিম্ব বিপরীত শীর্ষ হইলেই কি উহা সদ্‌বিম্ব ? —

4. Association type.

জলাশয়ের গভীরতা কম দেখা : প্রতিসরণ : : মরীচিকা : —

5. Multiple choice type.

1. পিন-হোল ক্যামেরায় যে প্রতিচ্ছবি গঠিত হয় তাহাকে প্রতিবিম্ব বলা চলে না।
কারণ

(a) ক্যামেরার প্রতিবিম্ব লেন্স দ্বারা গঠিত হয়—এক্ষেত্রে উহা লেন্স দ্বারা গঠিত হয় না।

(b) আলোকের সরলরেখায় গমনের ফলেই ঐ প্রতিচ্ছবি গঠিত হয়।

(c) উহা প্রতিফলন বা প্রতিসরণের ফলে গঠিত হয় না।

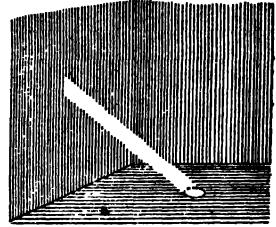
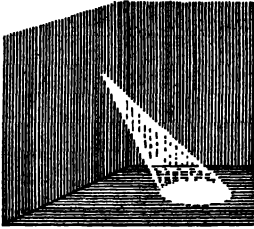
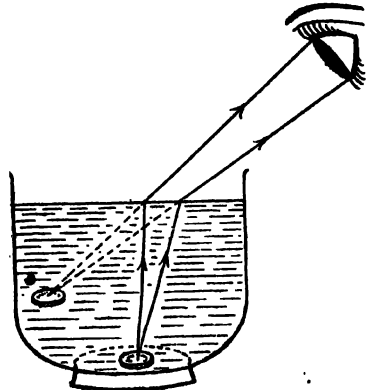
2. আলোকরশ্মি হাল্কা হইতে ঘন মাধ্যমে যাইবার কালে সম্পূর্ণ প্রতিফলন ঘটিতে পারে না।
কারণ

(a) সম্পূর্ণ প্রতিফলনের শর্ত অনুযায়ী ঐরূপ প্রতিফলনের জন্য ঘন মাধ্যম হইতে হাল্কা মাধ্যমের দিকে আলোকের চলা আবশ্যক।

(b) আমরা জানি যে $\sin\theta = \frac{1}{\mu}$। ঘন মাধ্যম সাপেক্ষ হাল্কা মাধ্যমের μ, 1এর চেয়ে কম হয়, সুতরাং হাল্কা মাধ্যমে সংকট কোণ হইলে ঐকোণের sine 1 এর চেয়ে বেশী হইবে, ইহা অসম্ভব।

(c) হাল্কা মাধ্যম হইতে ঘন মাধ্যমের দিকে আলোক চলিলে যে কোন আপাতন কোণের জন্য প্রতিসরিত রশ্মি পাওয়া যাইবে।

6. Diagrammatic type.

(a) নীচে ধুঁয়া দ্বারা পূর্ণ ঘরে সূর্যালোকের পথ দেখানো হইতেছে। কোনওটা ভুল হইলে কোন্‌টা ভুল ও কেন ভুল লিখ। উভয় চিত্র শুদ্ধ হইলে ছবির পার্থক্য কেন হইল লিখ।

(b) পার্শ্বের চিত্রটি দ্বারা কি বুঝান হইতেছে? ঐ চিত্রে ভুল আছে। ভুলটি কি বুঝাইয়া লিখ।

পরিশিষ্ট

ধ্রুবক পঞ্জী (Tables of Constants)

1. কয়েকটি সাধারণ বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব (Specific Gravity) :

বস্তু	আ. গু.	বস্তু	আ. গু.	বস্তু	আ. গু.
লোহা	7·85	কাঁচ (crown)	2·5	গ্লিসারিণ	1·26
পিতল	8·5	চিনি	1·59	তার্পিণ তৈল	·87
সোনা	19·32	ফট্‌কিরি	1·7	কেরোসিন	·80
রূপা	10·5	মোম	·87-·96	সরিষার তৈল	·92
তামা	8·9	নুন	2·17	পেট্রল	·71
মার্বেল পাথর	2·5-2·6	কর্ক	·22-·26	দুধ	1·03
বালি	2·3-2·6	তুঁতে	2·1		

2. কয়েকটি সাধারণ বস্তুর দৈর্ঘ্যর প্রসারণের গুণাঙ্ক (Co-efficient of Linear expansion) :

প্রতি ডিগ্রি সেণ্টিগ্রেডে (0°C হইতে 100°C এর মধ্যে)

বস্তু	দৈর্ঘ্যর প্রসারণের গুণাঙ্ক	বস্তু	দৈর্ঘ্যর প্রসারণের গুণাঙ্ক
কাঁচ	·0000089	তামা	·0000167
প্ল্যাটিনাম	·0000089	পিতল	·0000189
লোহা	·0000116	এ্যালুমিনিয়াম	·0000255
ইস্পাত	·0000110	ইন্‌ভার	·0000009

3. কয়েকটি তরলের আয়তনের প্রকৃত প্রসারণের গুণাঙ্ক (Co-efficient of Real expansion) :

প্রতি ডিগ্রি সেণ্টিগ্রেডে (0°C হইতে 100°C এর মধ্যে)

বস্তু	আয়তন প্রসারণের গুণাঙ্ক	বস্তু	আয়তন প্রসারণের গুণাঙ্ক
পারদ	·00018	তার্পিণ তেল	·00094
গ্লিসারিণ	·00058	এ্যালকোহল (0°C-30°C)	·0012
জল (40°C-100°C)	·00058	প্যারাফিন অয়েল	·0009

4. কয়েকটি বস্তুর আপেক্ষিক তাপ (Specific heat) :

(প্রতি গ্র্যামে যত ক্যালরি)

বস্তু	আ. তাপ	বস্তু	আ. তাপ	বস্তু	আ. তাপ
তামা	·094	পারদ	·034	মার্বেল	·22
লোহা	·119	সোনা	·03	তার্পিন তৈল	·42
সীসা	·031	বরফ	·50	সরিষার তৈল	·5
পিতল	·08	কাঁচ	·16	ক্যাস্টার অয়েল	·508

5. কয়েকটি বস্তুর প্রতিসরাঙ্ক (Refractive index) :

বস্তু	প্রতিসরাঙ্ক	বস্তু	প্রতিসরাঙ্ক
কাঁচ (crown)	1·5	জল	1·33
কাঁচ (flint)	1·62	গ্লিসারিণ	1·47
বরফ	1·33	তার্পিণ	1·47